

Mundhygienefertigkeiten und –verhalten bei habituellen Nutzern einer elektrischen Zahnbürste

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Petker, Waldemar
aus Polewoje

Gießen 2019

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Leitung: Frau Professor Dr. Renate Deinzer

Gutachter: Frau Professor Dr. Renate Deinzer
Gutachter: Herr Professor Dr. Peter Rehmann

Tag der Disputation: 25.09.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Die Bedeutung der häuslichen Mundhygiene für die Mundgesundheit	2
1.2	Bisherige Erkenntnisse zur Fähigkeit, Plaquefreiheit zu erreichen	3
1.3	Zusammenhang zwischen Zahnbürstverhalten und Plaquefreiheit.....	6
1.4	Zusammenfassung des theoretischen Hintergrunds und Fragestellung	8
2	Material und Methodik.....	10
2.1	Ethik und Datenschutz	10
2.2	Stichprobe.....	10
2.2.1	Rekrutierungswege.....	10
2.2.2	Ein- und Ausschlusskriterien.....	11
2.2.3	Rekrutierungsverlauf.....	11
2.3	Versuchsablauf	13
2.4	Klinische Parameter	14
2.4.1	Plaqueehebung vor und nach dem Reinigen der Zähne	14
2.4.2	Gingivitis.....	15
2.5	Verhaltensparameter.....	16
2.5.1	Videoaufzeichnung der Reinigung der Zähne	16
2.5.2	Videoanalyse	18
2.6	Soziodemografische Parameter	24
2.7	Vergleich Handzahnbürste vs. elektrische Zahnbürste	24
2.8	Forschungshypothesen und statistische Datenanalyse	25
3	Ergebnisse.....	28
3.1	Beschreibung der Stichprobe	28
3.2	Hauptfragestellung 1: Plaquefreiheit nach Reinigung mit elektrischer Zahnbürste.....	30
3.3	Nebenfragestellung 1: Vergleich elektrisch vs. manuell hinsichtlich Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne.....	32
3.4	Hauptfragestellung 2: Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten mit elektrischer Zahnbürste und Plaquefreiheit	33
3.5	Nebenfragestellung 2: Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten mit manueller Zahnbürste und Plaquefreiheit	36
3.6	Explorative Datenanalyse.....	38
4	Diskussion.....	41
4.1	Interpretation und Einordnung der Ergebnisse	42
4.1.1	Klinische Parameter.....	42

4.1.2	Zusammenhang zwischen Bürstverhalten und Plaquefreiheit	45
4.2	Limitierungen	48
4.3	Implikationen für Forschung und Praxis	51
5	Zusammenfassung.....	53
6	Summary.....	54
7	Abkürzungsverzeichnis	55
8	Abbildungsverzeichnis	56
9	Tabellenverzeichnis	57
10	Literaturverzeichnis	58
11	Anhang.....	66
12	Publikationsverzeichnis.....	79
13	Ehrenwörtliche Erklärung zur Dissertation	80
14	Danksagung.....	81

1 Einleitung

Der häuslichen Mundhygiene kommt eine zentrale Rolle bei der Vorbeugung von entzündlichen Parodontalerkrankungen zu, denn diese entstehen aufgrund persistierender Zahnbeläge am Gingivarand. Ziel der häuslichen Mundhygiene ist es daher, die Zähne von Plaque zu befreien. Trotz der Angabe der Mehrheit der Erwachsenen in Deutschland, sich täglich ihre Zähne zu reinigen, sind aber plaqueassoziierte Parodontalerkrankungen in der Bevölkerung weit verbreitet. Demnach stellt sich die Frage, warum trotz regelmäßiger Mundhygiene eine so hohe Prävalenz parodontaler Erkrankungen verzeichnet wird. Ist ein Großteil der Bevölkerung möglicherweise gar nicht in der Lage, die Zähne ausreichend von Plaque zu befreien?

Tatsächlich belegen jüngste Studien, die das Zähneputzen untersuchten, mangelnde Fähigkeiten von Nutzern einer Handzahnbürste, Zahnbeläge mit dieser zu entfernen (Deinzer et al. 2016; Ebel et al. 2018; Harnacke et al. 2012a; Harnacke et al. 2012b; Harnacke et al. 2016; Deinzer et al. 2018a; Deinzer persönliche Kommunikation). Eine Alternative zu den herkömmlichen Handzahnbürsten stellen elektrische Zahnbürsten dar. Wie es sich mit den Fähigkeiten von Nutzern elektrischer Zahnbürsten verhält, Zahnbeläge mit dieser zu entfernen, wurde bislang jedoch nicht untersucht. Dies zu prüfen ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Es wird untersucht, inwiefern Personen, die sich die Zähne gewöhnlich mit einer elektrischen Zahnbürste putzen, in der Lage sind, ihre Zähne von Plaque zu befreien. Bisher wurde in keiner Studie ermittelt, wieviel Plaque sich bei diesen Personen nach bestmöglichem Putzen mit einer elektrischen Zahnbürste noch auf den Zähnen befindet. Des Weiteren ist bisher ungeklärt, wie die Anwender einer elektrischen Zahnbürste mit dieser umgehen und inwiefern bestimmte Verhaltensparameter des Bürstens (Putzdauer, erreichte Flächen bzw. Sextanten, Systematik und Putzbewegungen) mit Plaquefreiheit nach dem Putzen in Verbindung stehen. Um diese Fragestellung zu beantworten wird der Putzvorgang in der vorliegenden Studie auf Video aufgezeichnet und hinsichtlich bestimmter Verhaltensaspekte analysiert.

Bevor hier genauer auf die Methoden und Ergebnisse der Untersuchung eingegangen wird, soll im vorliegenden Kapitel der aktuelle Stand der Erkenntnisse zu diesem Themenkomplex zusammengefasst und hieraus die Fragestellung abgeleitet werden. Die nun folgenden Abschnitte behandeln zunächst einleitend die Bedeutung der häuslichen Mundhygiene und die Folgen unzureichender Mundhygiene im Hinblick auf parodontale Strukturen (siehe Kapitel 1.1). Die darauffolgenden Abschnitte erläutern bisherige Erkenntnisse zu Fähigkeiten Plaquefreiheit zu erreichen (siehe Kapitel 1.2) und legen dann Studien zum Zusammenhang

zwischen Plaquefreiheit und Zahnputzverhalten dar (siehe Kapitel 1.3). Auf dieser Grundlage soll abschließend die Fragestellung dieser Arbeit abgeleitet werden (siehe Kapitel 1.4).

1.1 Die Bedeutung der häuslichen Mundhygiene für die Mundgesundheit

Entzündliche Erkrankungen des Zahnfleisches (Gingivitis) und des Zahnhalteapparates (Parodontitis) sind in der Bevölkerung weit verbreitet. In Deutschland sind 52 % der 35- bis 44-Jährigen von einer moderaten bis schweren Parodontitis betroffen (Hoffmann und Schützhold 2016). Die Prävalenz der Gingivitis wird in der Bevölkerungsgruppe sogar auf ca. 90 % geschätzt (Hoffmann 2006). Bei der Entstehung dieser Erkrankungen spielen bakterielle Zahnbeläge (Plaque) eine entscheidende Rolle. Ihre effektive Entfernung im Rahmen der häuslichen Mundhygiene stellt im Umkehrschluss die Grundlage zur Erhaltung der Mundgesundheit dar (Axelsson et al. 2004). In diesem Kapitel wird daher zunächst erläutert, wie sich persistierende Plaque negativ auf die Mundgesundheit auswirken kann.

Wenige Sekunden nach der Reinigung der Zahnoberfläche bildet sich eine Schicht aus Speichelproteinen, das Pellikel. Die Mundhöhle ist mit hunderten von Bakterienarten natürlich besiedelt. Einige dieser Bakterien sind in der Lage sich über das Pellikel fest an die Zahnoberfläche zu binden. Durch ihre Vermehrung und durch die Bindung weiterer Keimarten an die Erstbesiedler entsteht eine Ansammlung verschiedener Bakterien. Diese sind eingebettet in eine von den Bakterien selbstproduzierte Polysaccharidmatrix (Marsh et al. 2011). Damit ist innerhalb weniger Stunden, selbst ohne zwischenzeitliche Nahrungsaufnahme, ein bakterieller Belag auf den Zähnen entstanden, der nur mechanisch entfernt werden kann. Dies soll durch das Zähneputzen erfolgen. Wird die Plaque nicht regelmäßig gründlich entfernt, nimmt die Dicke der Plaque zu und der Anteil pathogener Bakterien wächst. Neben Fissuren, Grübchen und Zahnzwischenräumen, welche insbesondere im Rahmen der Kariesentstehung eine wichtige Rolle spielen, gilt auch der Übergang vom Zahnfleisch zur Zahnhartsubstanz als mit der Zahnbürste schwer zugänglicher Bereich (Hellwege 2003). Schädliche Plaquebakterien setzen in diesem Bereich Stoffwechselprodukte frei, die eine lokal begrenzte entzündliche Abwehrreaktion der Gingiva (Gingivitis) hervorrufen (Yucel-Lindberg und Båge 2013). Klinisch zeigen sich entzündliche Veränderungen in einer gesteigerten Blutungsneigung, sowie Rötung und Schwellung des Zahnfleisches. Diese sind jedoch nach Beseitigung der Plaque vollständig reversibel (Löe et al. 1965). Verbleibt die Plaque allerdings für einen längeren Zeitraum, kann sich aus einer Gingivitis eine Parodontitis entwickeln, wobei entzündliche Prozesse nun auf tieferliegende parodontale Strukturen übergreifen. Durch pathogene Stoffwechselprodukte schädlicher

Bakterien löst sich der feste Kontakt zwischen Zahnfleisch und Zahnoberfläche – es bildet sich eine Zahnfleischtasche. Die Bakterien können nun in die Tiefe der Zahnfleischtasche einwandern und entziehen sich damit der Mundhygiene. In der Zahnfleischtasche selbst herrscht ein sauerstoffarmes Milieu, das vor allem für aggressive anaerobe Bakterien optimale Wachstumsbedingungen darstellt. Der Körper versucht, sich mit einer verstärkten Immunreaktion gegen die Bakterien zu wehren. Sowohl die Entzündungsmediatoren aktivierter Immunzellen als auch Stoffwechselprodukte der Plaquebakterien tragen dabei zum Abbau des desmodontalen Faserapparates und des Alveolarknochens bei (Yucel-Lindberg und Båge 2013). Die Bindegewebs- und Knochendestruktion zeigen sich zunächst in einer erhöhten Mobilität der Zähne und führen unbehandelt zum Zahnverlust (Pihlstrom et al. 2005). Hinzu kommt, dass eine Parodontitis nicht nur den Zahnhalteapparat destruktiv beeinträchtigt, sondern auch weitreichende Folgen für den gesamten Organismus haben kann. So kann die Parodontitis mit einer erhöhten systemischen Entzündungsbelastung sowie einem erhöhten Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Tonetti und van Dyke 2013) und Diabetes mellitus (Chapple und Genco 2013) assoziiert sein.

Wie eingangs gesagt, dient die mechanische Plaqueentfernung der Prävention von Parodontalerkrankungen. Die meisten Erwachsenen scheinen sich regelmäßig die Zähne zu reinigen. Im Rahmen der fünften deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) geben über 80 % der erwachsenen Bevölkerung über 35 Jahren an, sich 2-mal täglich ihre Zähne zu putzen (Micheelis und Geyer 2016). Daher scheint es verwunderlich, dass Gingivitis und Parodontitis in dieser Bevölkerungsgruppe dennoch weit verbreitet sind. Es stellt sich demnach die Frage, warum trotz regelmäßig durchgeführter Mundhygiene plaqueassoziierte parodontale Erkrankungen eine so hohe Prävalenz aufweisen. Besteht möglicherweise ein mangelndes Vermögen, die Zähne in ausreichendem Maße von Plaque zu befreien? Dieser Frage widmet sich das nun folgende Kapitel, in welchem über bisherige Erkenntnisse zur Fähigkeit, Plaquefreiheit zu erreichen, berichtet wird. Aufgrund der oben skizzierten Ätiologie entzündlicher Parodontopathien steht hierbei das Erreichen von Plaquefreiheit im Gingivarandbereich im Vordergrund.

1.2 Bisherige Erkenntnisse zur Fähigkeit, Plaquefreiheit zu erreichen

Das Ziel der täglichen Mundhygiene ist die Befreiung der Zähne von Plaque. Zur Überprüfung der Frage, ob und in welchem Ausmaß dies unterschiedlichen Probandengruppen gelingt, wurden bereits eine Reihe von Studien durchgeführt, welche die Plaque im

Gingivarandbereich nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit einer Handzahnbürste erfassen (Deinzer et al. 2016; Ebel et al. 2018; Harnacke et al. 2012a; Harnacke et al. 2012b; Harnacke et al. 2016). Untersucht wurden dabei verschiedene Studienpopulationen zahnmedizinischer Laien mit unterschiedlichem Bildungsniveau und Alter: 12-Jährige (N = 99 bzw. N = 90, Deinzer persönliche Kommunikation), 18-Jährige (N = 70, Harnacke et al. 2016; N = 96, Deinzer et al. 2018a), Studierende (N = 56, Harnacke et al. 2012a; N = 83, Harnacke et al. 2012b) sowie Patienten mit feststehendem Zahnersatz (N = 93, Deinzer et al. 2016). In all diesen Studien wurden die Teilnehmer dazu aufgefordert, ihre Zähne *so gründlich wie möglich* zu putzen. Hierfür wurden die Probanden alleine im Raum gelassen. Neben Handzahnbürste und Zahnpasta standen ihnen dabei zusätzliche Hilfsmittel zur Interdentalraumhygiene zur Verfügung. Eine zeitliche Vorgabe für die Reinigung der Zähne wurde *nicht* erteilt. Nachdem die Probanden ihre Zähne nach bestem Vermögen gereinigt hatten, wurden verbliebene Plaqueanlagerungen registriert. Insgesamt zeigten die untersuchten Stichproben vergleichbare Defizite hinsichtlich der Plaqueentfernung mit der Handzahnbürste: Nach bestmöglicher Reinigung der Zähne waren weiterhin zwischen 50 % (12-Jährige) und über 70 % (18-Jährige, Studierende, Patienten mit feststehendem Zahnersatz) der Gingivarandflächen der natürlichen Zähne plaquebesiedelt (Deinzer et al. 2016; Harnacke et al. 2012a; Harnacke et al. 2012b; Harnacke et al. 2016). Es ist zu erwähnen, dass hier aufgeführten Studien (mit Ausnahme von Deinzer persönliche Kommunikation, und Deinzer et al. 2018a) die Vermittlung unterschiedlicher Zahnputztechniken untersuchten. Die Probanden erhielten jedoch zu jedem Untersuchungszeitpunkt die Instruktion, ihre Zähne so gründlich wie möglich, nun aber mittels der erlernten Technik zu reinigen. Erstaunlicherweise konnte selbst nach der Vermittlung der Zahnputztechnik keine Gruppe zu einem der Untersuchungszeitpunkte an mehr als 60 % der Gingivarandflächen Plaquefreiheit erreichen, unabhängig davon, welche Technik vermittelt wurde.

Oben aufgeführte Studien zeigen, dass trotz der Bemühungen, die Zähne so gründlich wie möglich zu reinigen, Plaquefreiheit nach dem Putzen mit der Handzahnbürste nicht annähernd erreicht wird. Dass weitgehende Plaquefreiheit nach dem Putzen mit der Handzahnbürste jedoch durchaus erreichbar ist, zeigte sich bei der Untersuchung von Probanden mit zahnmedizinischem Hintergrund. Zahnärztinnen und Zahnärzte, die an Universitätskliniken praktizieren und lehren (N = 64), Zahnmedizinische Studierende (N = 33) und Dentalhygienikerinnen (N = 30) wurden aufgefordert, ihre Zähne so gründlich wie möglich zu reinigen. Nach dem Putzen waren im Durchschnitt über 90 % der Gingivarandflächen plaquefrei, wobei einzelne Probanden sogar in der Lage waren ihre Zähne vollständig von Plaque zu befreien (Deinzer et al. 2018b).

Neben der Handzahnbürste gibt es auch die elektrische Zahnbürste mit deren Hilfe die Reinigung der Zähne erfolgen kann. In Deutschland lässt sich unter den Erwachsenen ein

stetig wachsender Anteil von Nutzern elektrischer Zahnbürsten verzeichnen (Jordan und Micheelis 2016). Es stellt sich die Frage, inwieweit die Plaqueentfernung mit diesen gelingt. Dies zu prüfen ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Zahlreiche Studien untersuchen zwar die Effektivität elektrischer Zahnbürsten hinsichtlich der Plaqueentfernung, allerdings bewertet ein Großteil dieser Studien die Sauberkeit der Zähne ohne unmittelbar vorausgehendes Zähneputzen (siehe Yaacob et al. 2014). Nur wenige Studien erfassen die Plaqueanlagerungen direkt nach dem Putzen, und häufig nicht explizit am Gingivarand. Diese Studien vergleichen in der Regel elektrische Zahnbürsten mit Handzahnbürsten oder elektrische Zahnbürsten mit unterschiedlichen Bewegungsmustern bzw. Bürstköpfen hinsichtlich Plaqueentfernung. Da hier also der Vergleich unterschiedlicher Bürstenmodelle im Fokus steht, ergibt sich eine methodische Vorgehensweise, die keine Rückschlüsse darauf zulässt, inwiefern die Probanden überhaupt in der Lage sind ihre Zähne von Plaque zu befreien: Um vergleichbare Bedingungen zu schaffen wurde in diesen Studien die Putzzeit begrenzt auf eine Minute (Dörfer et al. 2001; Farrell et al. 2006; Nathoo et al. 2000; Nathoo et al. 2003; Singh et al. 2005; Terézhalmy et al. 2005) bzw. zwei Minuten (Ayad et al. 2012; Biesbrock et al. 2007; Biesbrock et al. 2008; Goyal et al. 2009; He et al. 2008; Nathoo et al. 2012; Nathoo et al. 2014; Strate et al. 2005; Sharma et al. 2005a; Sharma et al. 2005b; Strate et al. 2005). Die Probanden erhielten vor der Nutzung der Bürste schriftliche Instruktionen gemäß der Empfehlung des Herstellers (Ayad et al. 2012; Biesbrock et al. 2007; Gallob et al. 2015; Nathoo et al. 2012; Nathoo et al. 2014; Sharma et al. 2011). Teilweise wurde die Nutzung der Bürste durch zahnmedizinisches Fachpersonal demonstriert oder es bestand die Möglichkeit, Rückfragen zur vermittelten Zahnputztechnik zu stellen (Biesbrock et al. 2008; He et al. 2008; Sharma et al. 2005a; Sharma et al. 2005b; Strate et al. 2005). Außerdem handelt es sich in der Regel um Neuanwender des untersuchten Bürstenmodells, das ihnen eigens für die betreffende Studie überlassen wurde. Im Rahmen der Literaturrecherche konnte nur eine Studie (Rosema et al. 2014) ermittelt werden, die Personen untersucht, die ihre Zähne gewohnheitsmäßig, und ohne hierzu durch eine Teilnahme an einer Studie veranlasst zu sein, mit einer elektrischen Zahnbürste reinigen. Dabei wäre doch gerade dies zu prüfen von besonderem Interesse, da dies der Regelfall der Anwendung einer elektrischen Zahnbürste ist. Entsprechend widmet sich die vorliegende Arbeit dieser Frage. Um diese Daten besser einordnen zu können, erfasst sie zusätzlich unter exakt gleichen methodischen Bedingungen, inwiefern eine Vergleichsgruppe habitueller Nutzer einer manuellen Zahnbürste in der Lage ist, ihre Zähne von Plaque zu befreien.

Um außerdem Anhaltspunkte zu erlangen, welche Faktoren zur Plaquefreiheit nach dem Zähneputzen beitragen, soll das Zahnputzverhalten selbst analysiert werden. Solche Beobachtungsstudien führten bei der Analyse des Zahnputzverhaltens mit manuellen Bürsten zu interessanten Ergebnissen, die im Folgenden zusammenfassend dargestellt werden.

1.3 Zusammenhang zwischen Zahnbürstverhalten und Plaquefreiheit

Im Rahmen aktueller Beobachtungsstudien (Deinzer et al. eingereicht; Ebel et al. 2018; Winterfeld et al. 2015) wurden 12- und 18-Jährige aus Gießen bei der Reinigung ihrer Zähne mit einer Handzahnbürste auf Video aufgenommen. Die routinemäßige Nutzung einer elektrischen Zahnbürste galt dabei als Ausschlusskriterium, womit ausschließlich habituelle Nutzer einer Handzahnbürste untersucht wurden. Während die Erwachsenen der Studie von Winterfeld et al. (2015) vor dem Putzen aufgefordert wurden, ihre Zähne wie gewohnt zu reinigen, erhielten die Kinder (Deinzer et al. eingereicht) und 18-Jährigen der Studie von Ebel et al. (2018) die Instruktion, dies so gründlich wie möglich zu tun. Die Videos wurden analysiert hinsichtlich der Gesamtputzdauer, der Dauer, mit der die jeweiligen Flächen (vestibular, oral und okklusal) und Sextanten geputzt wurden sowie der Dauer mit der mit unterschiedlichen Putzbewegungen (kreisend, vertikal, horizontal) geputzt wurde. Die durchschnittliche Putzdauer betrug ca. 200 Sekunden (12-Jährige von Deinzer et al. eingereicht, 18-Jährige von Ebel et al. 2018) bzw. 160 Sekunden (18-Jährige von Winterfeld et al. 2015) und entsprach mit über zwei Minuten damit allgemeinen Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Besonders auffällig war jedoch das unsystematische Vorgehen bei der Reinigung der Zähne, wodurch die Probanden nicht alle Bereiche gleichmäßig oder einige Bereiche sogar überhaupt nicht putzten. Nur wenige Probanden (ca. 10 %) putzten sowohl orale als auch vestibuläre Flächen aller Sextanten, wobei in erster Linie orale Flächen beim Zähneputzen vernachlässigt wurden. Vestibuläre und orale Flächen wurden dabei größtenteils mit kreisenden oder horizontalen Bewegungen geputzt, wohingegen vertikale Bewegungen seltener beobachtet wurden.

Ähnliche Beobachtungen hatten bereits Studien aus den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts bei Kindern und jungen Erwachsenen gemacht. Die Probanden in diesen Studien wurden gebeten, ihre Zähne in gewohnter Art und Weise vor einem halbdurchlässigen Spiegel zu reinigen. Sie wurden darüber informiert, dass sie beim Zähneputzen beobachtet werden, allerdings nicht darüber, dass das Bürsten zusätzlich mit einer Videokamera gefilmt wurde. Insgesamt war bei den 11- bis 13-Jährigen eine durchschnittliche Putzzeit von 60 Sekunden zu verzeichnen. Die 18- bis 22-Jährigen putzten ihre Zähne durchschnittlich ca. 39 Sekunden, wobei nur drei von 33 Probanden länger als eine Minute putzten (Macgregor und Rugg-Gunn 1979). Damit unterschied sich zwar die Putzdauer der Probanden im Vergleich zu den oben aufgeführten neueren Studien, jedoch war auch dort ein unsystematisches Putzverhalten mit häufigen Seitenwechseln und einer Vernachlässigung des Putzens oraler Flächen zu erkennen (Rugg-Gunn und Macgregor 1978; Macgregor und Rugg-Gunn 1979). Was die Bürstbewegungen betrifft, putzten die jungen Erwachsenen vorwiegend mit vertikalen und die Kinder mit horizontalen Bewegungen. Kreisende oder

rollende Bewegungen konnten selten beobachtet werden konnten (Rugg-Gunn und Macgregor 1978). Die ähnlichen Ergebnisse zu den aktuellen Beobachtungsstudien zeigen eindrucksvoll, dass sich das Putzverhalten in den letzten 30 Jahren kaum verändert hat.

Weitere Analysen der aktuelleren Studien dokumentieren darüber hinaus Zusammenhänge zwischen den beobachteten Verhaltensparametern und der Plaquefreiheit nach dem Putzen. Hierfür wurden die 18-Jährigen aus der Studie Winterfeld et al. (2015) ein weiteres Mal einbestellt und gebeten, ihre Zähne so gründlich wie möglich zu reinigen, um danach die verbliebene Plaque zu erheben (Harnacke et al. 2015). Bei den Probanden der Studien Deinzer (persönliche Kommunikation) sowie Ebel et al. (2018) wurde die Plaque unmittelbar nach den Videoaufzeichnungen erhoben. Es zeigte sich, dass die Plaquefreiheit nach dem Putzen mit folgenden Verhaltensparametern assoziiert war: Bürstsystematik (Ebel et al. 2018; Harnacke et al. 2015) sowie Putzdauer mit kreisenden Bewegungen (Harnacke et al. 2015; Ebel et al. 2018; Deinzer persönliche Kommunikation) bzw. gesamte Putzdauer (Deinzer persönliche Kommunikation).

Die hier aufgeführten Beobachtungsstudien zeigen, dass das Putzverhalten mit der Handzahnbürste in erster Linie von einer fehlenden Systematik geprägt ist. Auch bestehen erheblich interindividuelle Unterschiede in der Anwendung unterschiedlicher Bürstbewegungen, die allerdings nicht eindeutig mit dem Bürsterfolg assoziiert sind (Harnacke et al. 2015; Deinzer persönliche Kommunikation).

Bei der Umstellung auf eine elektrische Zahnbürste besteht die wichtigste Veränderung für den Verbraucher darin, dass die Zahnbürste die Borstenbewegung übernimmt. Dabei dominieren zwei Bürstentypen: oszillierend-rotierende und Schallzahnbürsten. Bei oszillierend-rotierenden Systemen rotiert der runde Bürstenkopf hin und her. Manche Zahnbürstenmodelle führen dabei zusätzlich pulsierende Bewegungen aus. Schallaktive Zahnbürsten erzeugen Schwingungen, die auf den Bürstenkopf übertragen werden und somit die Borsten in Bewegung versetzen. Zwar übernimmt die elektrische Zahnbürste damit teilweise die Bürsttechnik, sie muss jedoch weiterhin von der putzenden Person geführt werden, um alle Zahnbereiche zu erfassen. Manche Bürstenmodelle versuchen daher mit Zusatzfunktionen, wie z.B. einem integrierten Timer, dem Nutzer ein systematisches Putzverhalten nahezubringen und Putzgewohnheiten zu optimieren.

Diese Eigenschaften elektrischer Zahnbürsten legen die Vermutung nahe, dass sich das Putzverhalten mit einer elektrischen Zahnbürste deutlich von dem mit manuellen Bürsten, wie es oben beschrieben wurde, unterscheidet. Allerdings gibt es bis heute lediglich eine Studie, die das Putzverhalten mit elektrischen Zahnbürsten in analoger Weise zu den oben zitierten Studien mit manuellem Bürsten systematisch untersucht hat (Ganss et al. 2018). Im

Gegensatz zur vorliegenden Arbeit wurde in dieser Studie das „normale“ Putzverhalten und nicht die Reinigung nach bestem Vermögen untersucht. Da weiterhin nicht die Plaque nach Reinigung der Zähne gemessen wurde, bleibt unklar inwiefern bestimmte Verhaltensparameter des elektrischen Zähneputzens mit Plaquefreiheit zusammenhängen. Das zweite Ziel der vorliegenden Studie ist daher, dies nachzuholen.

1.4 Zusammenfassung des theoretischen Hintergrunds und Fragestellung

Die dentale Plaque ist ein entscheidender Faktor bei der Entstehung entzündlicher Parodontalerkrankungen. Trotz regelmäßig durchgeführter Mundhygiene, ist die Prävalenz parodontaler Erkrankungen äußerst hoch. Diese Diskrepanz legt den Verdacht nahe, dass ein Großteil der Bevölkerung nicht in der Lage ist, die Zähne ausreichend von Plaque zu befreien. Eine Reihe von Studien zeigt, dass das Ziel der Plaquefreiheit nach dem Putzen mit der Handzahnbürste tatsächlich nicht erreicht wird. Eine Alternative zum manuellen Bürsten stellen elektrische Zahnbürsten dar. Entsprechende Daten zur erreichten Plaquefreiheit bei habituellen Nutzern elektrischer Zahnbürsten fehlen jedoch. Diese zu generieren ist ein Hauptanliegen der vorliegenden Studie. Um die so gewonnenen Daten besser einordnen zu können, soll auch eine Vergleichsgruppe von habituellen Nutzern einer manuellen Zahnbürste mit exakt derselben Methodik untersucht werden. Des Weiteren stellt sich, analog zu Handzahnbürsten, die Frage, wie habituelle Nutzer elektrischer Zahnbürsten mit diesen umgehen und ob sich Verhaltensparameter identifizieren lassen, die mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen. Dies gilt ebenso für die Vergleichsgruppe manuell bürstender Probanden, da eine solche Analyse für Studierende noch nicht erfolgt ist. Auch diese Fragestellungen soll mit der vorliegenden Studie verfolgt werden.

Daraus ergeben sich für die vorliegende Studie folgende Fragestellungen:

Hauptfragestellungen:

- 1) Wie plaquefrei sind habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit ihrer Zahnbürste?

Bei dieser Fragestellung geht es entsprechend zunächst um die reine Deskription der Plaquefreiheit nach Putzen. Da man nichts darüber weiß, wie gut die *gewohnheitsmäßigen* Anwender elektrischer Zahnbürsten ihre Zähne reinigen, ist die Darstellung eines status quo im ersten Schritt unumgänglich.

- 2) Können durch die Beobachtung des Bürstverhaltens Verhaltensweisen habitueller elektrischer Putzer identifiziert werden, die mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen? Hier geht es um die Analyse statistischer Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten und Plaquefreiheit nach dem Bürsten, um daraus Hypothesen zu generieren, welche Verhaltensweisen vor allem der Plaqueentfernung dienlich sind.

Nebenfragestellungen:

- 1) Wie bereits erwähnt, soll zur besseren Einordnung der Daten, unter exakt gleichen methodischen Bedingungen eine Vergleichsgruppe habitueller Nutzer einer manuellen Zahnbürste untersucht werden. Geprüft wird hierbei die Hypothese, dass die beiden Gruppen sich in der Plaquefreiheit nach Putzen unterscheiden.
- 2) Da die Gruppe der Studierenden noch nicht beim Zähneputzen mit der Handzahnbürste beobachtet wurde, erfolgt weiterhin eine separate Analyse statistischer Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten und Plaquefreiheit nach manuellem Bürsten. Auch hier gilt es zu prüfen, ob durch die Beobachtung des Bürstverhaltens Verhaltensweisen identifiziert werden, die mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen.

2 Material und Methodik

Die Datenerhebung für die vorliegende Studie erfolgte im Zeitraum von Oktober 2016 bis Februar 2017 in den Laborräumen des Instituts für Medizinische Psychologie (IMP) der Justus-Liebig-Universität Gießen; sie ist Teil eines größeren Forschungsprojektes zum Zahnputzverhalten.

2.1 Ethik und Datenschutz

Das Studienprotokoll wurde vor Beginn der Datenerhebung durch die Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen genehmigt (AZ 124/16).

Zu Beginn des Untersuchungstermins erhielten die Probanden einen Aufklärungsbogen mit Informationen zum Inhalt der Untersuchung und dem Umgang mit erhobenen Daten (siehe Anhang A). Nachdem die Probanden die Aufklärungsinformationen gelesen hatten, bestand die Gelegenheit, eventuelle Rückfragen zur Studie zu klären. Nach der so erfolgten Aufklärung wurde das schriftliche Einverständnis der Probanden eingeholt. Die Teilnehmenden wurden darauf hingewiesen, dass sie jederzeit, ohne Angabe von Gründen, die Untersuchung abbrechen können.

Die Erfassung aller Daten erfolgte pseudonymisiert. Bewerber und Probanden erhielten einen individuellen Zahlencode, der sämtliche Datenblätter bzw. die elektronische Erfassung der Daten kennzeichnete.

2.2 Stichprobe

2.2.1 Rekrutierungswege

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über Aushänge auf dem Campus der Justus-Liebig-Universität Gießen, über Rundmails des Hochschulrechenzentrums der Universität sowie über Online-Anzeigen in einer Zeitung („Gießener Anzeiger“). Dem Rekrutierungstext (siehe Anhang B) war zu entnehmen, dass für eine Studie zum Thema Zähneputzen Studierende (ausgenommen Medizin- und Zahnmedizinstudierende) im Alter von 18 bis 30 Jahren ohne feste Zahnspange gesucht wurden. Der geschätzte zeitliche Aufwand wurde mit 1,5 Stunden angegeben. Für die Teilnahme an der Studie wurde eine Aufwandsentschädigung von 15 € angeboten.

2.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden lediglich Probanden einbezogen, die *habituell* mit einer elektrischen Zahnbürste bzw. mit einer Handzahnbürste putzen. Von einer habituellen Nutzung wurde, auf Grundlage des transtheoretischen Modells nach Prochaska und Velicer (1997), bei einer Nutzungsdauer der Bürste von mindestens sechs Monaten ausgegangen. Probanden, die habituell zu mindestens einem Drittel der regelmäßigen Putzvorgänge auch mit dem jeweils anderen Bürstentyp putzen, wurden der Gruppe der „Hybride“ zugeordnet (siehe Abbildung 1).

Aufgrund möglicher Einflüsse auf das Mundhygieneverhalten und den Mundgesundheitsstatus wurden weiterhin folgende Ausschlusskriterien festgelegt:

- Studium der Zahnmedizin oder Medizin
- festsitzende kieferorthopädische Apparaturen und herausnehmbare Prothesen
- körperliche Einschränkungen (mit Einfluss auf das Mundhygieneverhalten)
- weniger als 20 natürliche Zähne; überkronte Zähne galten als natürliche Zähne
- Professionelle Zahnreinigung (PZR) innerhalb der letzten vier Monate vor der Untersuchung
- Schwangerschaft
- Einnahme von Antibiotika innerhalb der letzten sechs Monate vor der Untersuchung

2.2.3 Rekrutierungsverlauf

242 Personen meldeten sich auf den Aufruf, von denen 235 auf Eignung geprüft werden konnten. 159 Personen erwiesen sich als geeignete Teilnehmer. 24 Personen wurden trotz Erfüllung der Kriterien nicht terminiert, da die Stichprobengröße für die jeweilige Gruppe erreicht worden war. 135 Personen erhielten einen Untersuchungstermin, von denen wiederum 17 ihren Termin nicht wahrnahmen und anschließend nicht mehr erreichbar waren. 118 Probanden nahmen somit an der vorliegenden Studie teil. Bei zwei Probanden musste der Untersuchungstermin vorzeitig abgebrochen werden, eine Probandin musste nachträglich von der Datenanalyse ausgeschlossen werden. Insgesamt flossen damit die Daten von 115 Probanden (elektrisch N = 55; manuell N = 60) in die Analyse ein. Detailliertere Informationen zum beschriebenen Rekrutierungsprozess sind dem Flow-Diagramm (Abbildung 1) zu entnehmen.

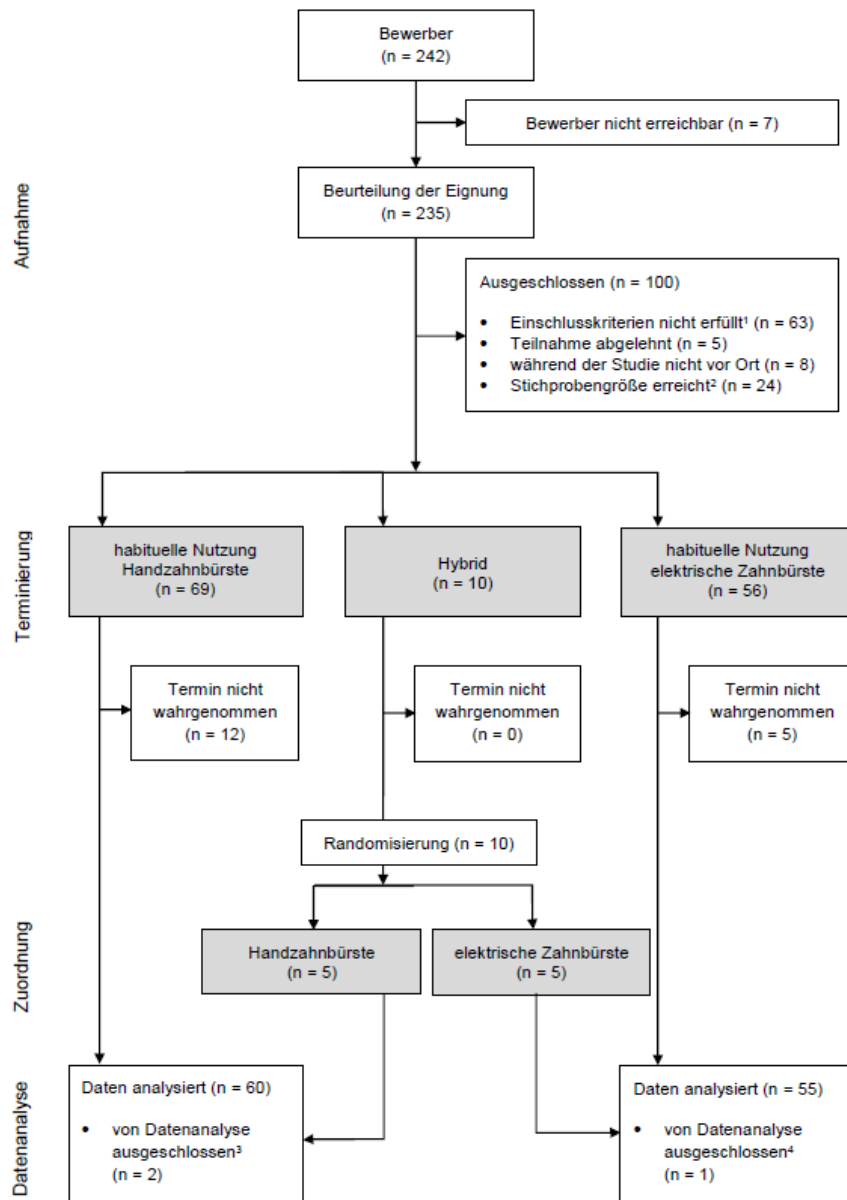


Abbildung 1 Flow-Diagramm des Rekrutierungsablaufes.

¹ Die Personen wurden aufgrund folgender Kriterien ausgeschlossen: > 30 Jahre alt (n = 3); kein Studium oder Studium der Humanmedizin (n = 4); Vorhandensein einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur (n = 3); Einnahme eines Antibiotikums vor weniger als sechs Monaten (n = 24); PZR vor weniger als vier Monaten (n = 18); Wechsel des Zahnbürstentypes vor weniger als sechs Monaten (n = 11).

² habituelle Nutzer einer Handzahnbürste n = 22; habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste n = 1; Hybride n = 1

³ Die Untersuchung wurde abgebrochen aufgrund technischer Probleme. (Aufnahme durch Tablet-PC nicht möglich). Eine Probandin wurde fälschlicherweise der Gruppe der Hybride zugeordnet, obwohl sie seit weniger als sechs Monaten sowohl elektrisch als auch manuell putzt.

⁴ Der Akku der elektrischen Zahnbürste war während des Putzvorgangs leer.

2.3 Versuchsablauf

In diesem Kapitel wird der Versuchsablauf in Kürze dargestellt; die einzelnen Untersuchungsphasen werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer erläutert.

Vor Studienbeginn wurde ein genauer Ablaufplan erstellt. Um die Versuchsleitung hinsichtlich ihrer individuellen Aufgaben zu trainieren und einen reibungslosen standardisierten Versuchsablauf zu gewährleisten, wurden dann mehrere Testdurchläufe mit Probekandidaten durchgeführt.

Bewerbern war es möglich, sich per E-Mail oder telefonisch im Forschungssekretariat auf den Aufruf zu melden; die Kontaktdaten der Bewerber wurden aufgenommen und ein Probanden-Code vergeben (siehe Anhang C). Zeitnah wurden die Bewerber telefonisch kontaktiert. In diesem Telefoninterview wurden zunächst die Ausschlusskriterien abgeklärt und für geeignete Studienteilnehmer und –teilnehmerinnen ein Termin für die Untersuchung vereinbart (siehe Anhang C). Außerdem wurden sie gebeten, zu diesem Termin ihre eigene Zahnbürste mitzubringen und sich mindestens vier Stunden vor der Untersuchung ihre Zähne nicht zu putzen. In der Regel erhielten Probanden einen Tag vor dem Untersuchungstermin eine Erinnerung per E-Mail (siehe Anhang D).

Beim Untersuchungstermin selbst wurden die Probanden zunächst noch einmal ausführlich durch die Versuchsleiter aufgeklärt, diese waren nicht an der klinischen Untersuchung beteiligt (Katarzyna Bandurka [K. B.], Forschungspraktikantin im IMP; Pascal Kellner [P. K.], Masterstudent der Sportwissenschaften). Hinsichtlich Fragestellung und Vergleichsgruppe wurden die Versuchspersonen dabei verblindet. Den Teilnehmern der Studie wurde lediglich mitgeteilt, dass im Rahmen der Studie das Zähneputzen bei Studierenden untersucht wird, weswegen mögliche Zahnbeläge erfasst und sie bei dem Reinigen Ihrer Zähne gefilmt werden. Nachdem die Probanden ihr schriftliches Einverständnis zur Studienteilnahme gaben, wurden mithilfe eines strukturierten Interviews die Ein- und Ausschlusskriterien erneut überprüft sowie demografische Variablen (siehe Kapitel 2.6) erhoben. Die Probanden wurden dann in den Untersuchungsraum geführt. Der klinische Untersucher (Waldemar Petker [W. P.], Zahnarzt und Verfasser dieser Arbeit) war hinsichtlich der genutzten Zahnbürste der Probanden verblindet. Um dies sicherzustellen, wurden die Probanden, bevor sie in den Untersuchungsraum geführt wurden, noch einmal darauf hingewiesen dem Untersucher gegenüber nicht den verwendeten Zahnbürstentyp zu erwähnen. Zunächst wurde der Zahnbefund erhoben. Im Anschluss wurde ein Plaquarelevator auf die Zähne aufgetragen und die Plaqueanlagerung vor dem Zähneputzen bestimmt (siehe Kapitel 2.4.1). Danach erfolgte die Bewertung des Entzündungszustandes der Gingiva (siehe Kapitel 2.4.2). Anschließend wurden die Probanden aufgefordert, sich ihre Zähne mit der eigenen mitgebrachten

Zahnbürste nach bestem Vermögen zu reinigen; der Putzvorgang wurde dabei auf Video aufgezeichnet (siehe Kapitel 2.5.1). Hierfür wurden Zahnpasta und Hilfsmittel zur Zahnzwischenraumreinigung zur Verfügung gestellt. Direkt im Anschluss wurde die verbliebene Plaque mittels Plaquerelevator angefärbt und die Plaquewerte nach dem Zähneputzen erhoben. Dann erhielt der Proband die Aufwandsentschädigung und bestätigte schriftlich den Empfang des Geldes. Bevor die Probanden verabschiedet wurden, erhielten sie noch einmal die Möglichkeit, offene Fragen an den Untersucher zu richten und erhielten, falls gewünscht, eine Rückmeldung zum Zahnputzerfolg.

2.4 Klinische Parameter

Die klinischen Parameter wurden von einem kalibrierten Zahnarzt (W. P.) erfasst. Die Kalibrierung erfolgte vor der Datenerhebung an einer bereits kalibrierten, mit den zu erhebenden klinischen Indizes vertrauten Zahnärztin (Julia Weber [J. W.]). Die Kalibrierung war erfolgreich, wenn eine Übereinstimmung von > 90 % aller Werte pro Index bei fünf aufeinanderfolgenden Personen erreicht wurde und dabei keiner der Werte eine Abweichung > 1 zeigte. Personen, welche im Rahmen der Kalibrierung untersucht wurden, nahmen nicht als Probanden an der Studie teil. Die Kalibrierung lief folgendermaßen ab: Die klinischen Indizes zur Erfassung von Plaqueanlagerungen und gingivalen Blutungen wurden quadrantenweise und getrennt nach vestibulären und oralen Zahnflächen nacheinander durch beide Untersucher erhoben; entsprechende Werte wurden separat notiert. Während der Beurteilung dieser Werte verließ der jeweils andere Untersucher den Raum. Die Plaque- und Blutungswerte wurden stets direkt im Anschluss verglichen, sodass mögliche Abweichungen an der Versuchsperson besprochen werden konnten.

Die Datenaufnahme im Notebook erfolgte mit einer Software zur Patientenverwaltung (MZD), welche von der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Verfügung gestellt wurde. Die klinischen Daten wurden mithilfe eines USB-Fußschalters (USB Foot Switch, Scythe Co., LTD, Tokio, Japan) durch den Untersucher selbst eingegeben. Um fehlerhafte Eingaben zu vermeiden, respektive direkt korrigieren zu können, wurden die Werte dem Untersucher direkt bei der Eingabe über Kopfhörer akustisch wiedergegeben.

2.4.1 Plaqueerhebung vor und nach dem Reinigen der Zähne

Vor und nach der Reinigung der Zähne wurde die Plaqueanlagerung bestimmt. Nach dem Trockenpüsten der Zähne wurde eine fluoreszierende Indikatorflüssigkeit (Plaque Test, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) mit Hilfe eines Schaumstoffpellets auf die Zähne

aufgetragen. Anschließend wurde der Proband gebeten den Mund zwei Mal auszuspülen, um überschüssige Indikatorflüssigkeit zu entfernen. Dann erfolgte die Bewertung der Plaqueanlagerung mithilfe von zwei Indizes, die im Folgenden detailliert dargestellt werden.

2.4.1.1 Marginaler Plaque Index (Deinzer et al., 2014; MPI)

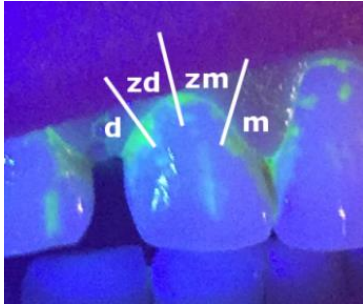


Abbildung 2 Einteilung der Gingivarandabschnitte bei der Erfassung des MPI.

Der MPI beurteilt die Plaqueanlagerung entlang des Gingivarandes. Der Gingivarandbereich der vestibulären und oralen Zahnfläche wird hierfür in jeweils vier Abschnitte eingeteilt (distal [d], zerviko-distal [zd], zerviko-mesial [zm], mesial [m]), wodurch sich insgesamt acht Messstellen pro Zahn ergeben (siehe Abbildung 2). Es wird dichotom erfasst, ob Plaque vorhanden ist (Grad 1) oder nicht (Grad 0).

2.4.1.2 Plaque Index nach Quigley & Hein (1962), modifiziert nach Turesky (1970; TQHI)

Der TQHI beschreibt die Ausbreitung der Zahnbeläge über die vestibulären und oralen Zahnflächen. Dabei werden folgende sechs Schweregrade unterschieden:

- 0 Keine Plaque
- 1 Plaqueinseln im zervikalen Randbereich des Zahnes
- 2 dünnes, kontinuierliches Plaqueband (bis zu 1 mm breit) am zervikalen Rand
- 3 Plaqueband breiter als 1 mm bedeckt weniger als ein Drittel der Zahnkrone
- 4 Plaque bedeckt mindestens ein Drittel aber weniger als zwei Drittel der Zahnkrone
- 5 Plaque bedeckt zwei Drittel der Zahnkrone oder mehr

2.4.2 Gingivitis

Zur Erfassung der gingivalen Entzündung wurde der Papillenblutungsindex (PBI) nach Saxer und Mühlemann (1975) modifiziert nach Rateitschak (1989), erfasst. Mit einer stumpfen Parodontalsonde (UNC 15, Hu-Friedy) wurde hierfür der Sulkus der distalen und mesialen Papille von der Basis zur Spitze hin mit leichtem Druck (ca. 0,25 N) ausgestrichen. (Zu Beginn jeder Studiensitzung kontrollierte der klinische Untersucher die korrekte Kraftdosierung anhand einer Waage.) Der Anstellwinkel zwischen Sondenarbeitsende und Zahnfläche sollte dabei 20 bis 40° betragen. 30 Sekunden nach dem Sondieren wurde die Intensität der auftretenden Blutung beurteilt, wobei folgende fünf Blutungsgrade unterschieden wurden:

- 0 keine Blutung
- 1 Auftreten eines Blutpunktes
- 2 Auftreten verschiedener isolierter Blutpunkte oder einer feinen Blutlinie
- 3 Das interdentale Dreieck füllt sich kurz nach der Sondierung mit Blut.
- 4 Profuse Blutung beim Sondieren; Blut fließt sofort in den marginalen Sulkus.

Während die Erhebung des Indexes bei Saxer und Mühlemann nur im ersten und dritten Quadranten oral und im zweiten und vierten Quadranten nur vestibulär erfolgt, wurden in der vorliegenden Arbeit alle vier Quadranten oral und vestibulär untersucht. Die Erfassung der Sondierungsblutung erfolgte vor der Reinigung der Zähne, um eine mögliche Verzerrung der Blutungswerte durch Reizung der Gingiva zu vermeiden. Da weiterhin Speichel oder umgebende Weichteile die Blutungswerte verfälschen könnten, wurden die Zahnflächen vor dem Sondieren mit Luft trocken gepüstert und es wurde stets darauf geachtet, Zunge und Wange mit einem Mundspiegel abzuhalten.

2.5 Verhaltensparameter

2.5.1 Videoaufzeichnung der Reinigung der Zähne

Die Reinigung der Zähne und die Videoaufzeichnung erfolgten in einem separaten Video-Beobachtungsraum. In diesem befand sich ein Waschbecken mit höhenverstellbarer Vorrichtung zur Befestigung eines Tablet-PCs (Windows Surface; Videoformat: .mp4; Framerate: 30fps), welcher als Videokamera und den Probanden gleichzeitig als Spiegel diente. Zusätzlich wurde der Reinigungsvorgang über zwei weitere Beobachtungskameras (AXIS V5915; Videoformat: .wmv; Framerate: 25fps) aus unterschiedlichen Perspektiven erfasst (siehe Abbildungen 3-5).



Abbildung 3 Bildausschnitt aus Video aufgenommen mit Beobachtungskamera 1.



Abbildung 4 Bildausschnitt aus Video aufgenommen mit integrierter Kamera des Tablet-PCs.



Abbildung 5 Bildausschnitt aus Video aufgenommen mit Beobachtungskamera 2.

Während der ersten klinischen Untersuchung erfolgte die Vorbereitung des Beobachtungsraumes sowie der benötigten Materialien durch die Assistenz: Zunächst wurden Vorder- und Rückseite der Zahnbürste des Probanden mit farblichen Klebestreifen markiert (siehe Anhang E), um bei späteren Videoanalysen, auch bei geschlossenem Mund, die Position des Bürstenkopfes zur Zahnfläche besser beurteilen zu können. Weiterhin wurden Waschbecken und umliegende Oberflächen desinfiziert und neben der Zahnbürste des Probanden wurden Zahnpasta, Hilfsmittel zur Reinigung der Zahnzwischenräume (Zahnseide, Interdentalbürstchen) sowie ein mit Wasser gefüllter Becher bereitgestellt. Die integrierte Kamera-App des Tablet-PCs wurde geöffnet. Anschließend wurde das Softwareprogramm VideoSync Pro gestartet und die Probandennummer zur Kennzeichnung des Videomaterials eingetragen.

Im Anschluss an die erste klinische Untersuchung führte die Assistenz den Probanden in den Video-Beobachtungsraum und bat den Probanden, sich vor dem Waschbecken zu positionieren. Die Kamera des Tablet-PCs wurde dann entsprechend der Größe des Probanden ausgerichtet, sodass dieser im Zentrum des Bildes zu sehen war. Dem Teilnehmer wurde dann folgende Instruktion erteilt: „Reinigen Sie Ihre Zähne so gründlich wie möglich, so gut Sie können.“ Eine zeitliche Vorgabe erfolgte hierbei nicht und die Nutzung der zur Verfügung gestellten Hilfsmittel zur Reinigung der Zahnzwischenräume war optional. Der Proband wurde weiterhin gebeten, die Assistenz wieder hereinzurufen, sobald er die Zähne nach bestem Vermögen gereinigt hatte. Nachdem die Assistenz die Aufnahme am Tablet-PC gestartet hatte, verließ diese den Beobachtungsraum, sodass der Proband für die Dauer der Reinigung der Zähne ungestört war. Von einem Nebenraum aus startete die Assistenz die Aufnahme über die Beobachtungskameras und gab dem Probanden über Mikrofon zu verstehen, dass er nun mit der Reinigung der Zähne beginnen kann. Im Anschluss an die Reinigung der Zähne wurde das Video des Tablet-PCs ebenfalls unter dem Probanden-Code auf einem Rechner gesichert. Vor der Videoanalyse wurde das Video des Tablet-PCs in das Videoformat .avi mit einer Framerate von 25fps konvertiert (Freemake Video Converter, Digital Wave Limited Company).

2.5.2 Videoanalyse

2.5.2.1 Kodierung mit INTERACT

Die Analyse der Videoaufnahmen hinsichtlich des Mundhygieneverhaltens erfolgte nach Abschluss der Datenerhebung mit der Software INTERACT (Version 16, Mangold International, Arnstorf, Germany). Das Programm ermöglicht die Darstellung von Videodateien in unterschiedlicher Geschwindigkeit und gleichzeitig deren inhaltliche Kodierung. Hierfür mussten zunächst entsprechende Verhaltenscodes in einem Kodiersystem definiert werden, welche wiederum mit Tastenkürzeln belegt wurden. Während die Videodatei abgespielt wurde, ließen sich entsprechende Ereignisse durch das Drücken des jeweiligen Tastenkürzels in einem Datenset erfassen (Mangold 2016). Das zugrundeliegende Kodiersystem basierte in seinen Grundzügen auf vorhergehenden Videobeobachtungsstudien zum manuellen Bürstverhalten (Winterfeld et al. 2015; Ebel et al. 2018; Deinzer et al. eingereicht). Für die vorliegende Untersuchung wurde zunächst geprüft, inwiefern dies auf das Bürstenverhalten mit elektrischer Zahnbürste übertragbar ist oder, ob neue Variablen zur Beschreibung des Bürstverhaltens mit der elektrischen Zahnbürste zu definieren sind. Hierfür wurden von den 55 Zahnputzvideos von elektrisch bürstenden Studienteilnehmern zehn zufällig ausgewählt. Folgende Beobachtungen wurden zusammengetragen: Bei der elektrischen Zahnbürste erfolgt die Bewegung der Borsten in der Regel durch die Elektronik der Bürste. Die Zahnbürste sollte lediglich passiv an den Zähnen entlanggeführt werden, wodurch anzunehmen ist, dass sich die Putzbewegungen grundlegend von manuellen Bewegungen unterscheiden. Erste Beobachtungen zeigten jedoch, dass Probanden auch manuelle Bürstbewegungen in den Zahnputzvorgang integrierten. Hinsichtlich der Bürstbewegungen sollte deswegen bei elektrischen Zahnbürsten unterschieden werden zwischen „integrierten manuellen Bewegungen“ und „keine integrierten manuellen Bewegungen“. Die Verhaltenscodes des schlussendlichen Kodiersystems sind in Tabelle 1 dargestellt.

2.5.2.2 Interraterreliabilität

Die Analyse der Videoaufnahmen wurde von insgesamt drei Ratern (K. B.; P. K.; W. P.) durchgeführt, welche von einer bereits kalibrierten und erfahrenen Raterin (Stefanie Ebel [S. E.]) anhand von Videos, welche nicht im Rahmen der vorliegenden Studie aufgenommen wurden, trainiert und kalibriert wurden. Für die Kalibrierung hinsichtlich der Verhaltensparameter Bürstdauer, Flächen und Sextanten wurden Videoaufnahmen einer vorhergehenden Videobeobachtungsstudie zum manuellen Bürsten (Ebel et al. 2018) verwendet. Diese Parameter unterscheiden sich im Grundsatz nicht zwischen elektrischem und manuellem Bürsten. Die Kalibrierung der Bürstbewegungen mit der Handzahnbürste erfolgte ebenfalls anhand von Videomaterial dieser Untersuchung. Hinsichtlich der Bürstbewegungen mit elektrischer Zahnbürste musste auf zwei von der Datenanalyse

ausgeschlossene Videoaufnahmen zurückgegriffen werden. Während der Trainingsphase bestand die Möglichkeit, in Absprache mit allen Mitwirkenden, bereits bestehende Richtlinien für die Beurteilung der Verhaltensparameter anzupassen. Nach dem Training erfolgten die eigentlichen Kalibrieringsratings. Hierfür werteten die Rater in der Regel fünf Videos unabhängig voneinander aus. Als Maß für die Übereinstimmung wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) verwendet. Die Kalibrierung galt als erfolgreich, wenn hierbei Werte von $ICC > 0,80$ erreicht wurden. Da folgende Parameter nicht von der subjektiven Wahrnehmung des Beobachters abhängen, erfolgte hierfür keine Kalibrierung: der Aktivierungszustand und die Signale des integrierten Timers der elektrischen Zahnbürste, die Nutzung von Hilfsmitteln zur Zahnzwischenraumreinigung sowie mit welcher Hand geputzt wurde.

Um die Qualität der Ratings im Anschluss an die Kalibrierung sicherzustellen, erfolgten Doppelratings bei mindestens 10 Videos (5 elektrisch; 5 manuell) pro Verhaltensparameter, d. h. Videos wurden hinsichtlich eines Parameters von zwei Ratern unabhängig voneinander ausgewertet. Hierbei wurden stets Übereinstimmungen von $ICC > 0,806$ erreicht. (Übereinstimmungen wurden für manuelle und elektrische Zahnputzvideos getrennt berechnet.)

Aufgrund der hohen Übereinstimmung bei der Kalibrierung ($ICC > 0,999$) für den Parameter Bürstdauer, wurde das auszuwertende Videomaterial gleichmäßig per Zufall auf zwei Rater (P. K., W. P.) aufgeteilt. 20 zufällig ausgewählte Videos (10 elektrisch; 10 manuell) wurden dabei von beiden Ratern ausgewertet; auch hier lag die Übereinstimmung sowohl für elektrische als auch für manuelle Zahnputzvideos bei $ICC > 0,999$.

Das Rating der Videoaufnahmen hinsichtlich der Flächen, Sextanten und Bewegungen erfolgte dann durch eine einzige Person. Ursprünglich war geplant, dass zwei Rater (P. K. und W. P.) das gesamte Videomaterial hinsichtlich erreichter Flächen separat auswerten, und die Ergebnisse beider Auswerter aggregiert werden. Übereinstimmungen sollten im zeitlichen Verlauf der Flächenratings nach jeweils zehn elektrischen und zehn manuellen Zahnputzvideos berechnet werden. Allerdings legte P.K. während der laufenden Videoanalyse seine Mitarbeit am Projekt nieder; zu diesem Zeitpunkt waren 36 Videos (17 elektrisch; 19 manuell) hinsichtlich der Flächen von ihm ausgewertet. Da bei diesen Videos Übereinstimmungen von $ICC > 0,806$ erreicht wurden, erfolgten die restlichen Flächenratings ausschließlich durch einen Rater (W. P.).

Die Videoanalyse hinsichtlich der Sextanten erfolgte durch K. B. Zur Überprüfung der Übereinstimmung für die Sextanten wurden 10 zufällig ausgewählte Videos (5 elektrisch, 5 manuell) von W. P. ausgewertet; die Übereinstimmung lag immer bei $ICC > 0,93$.

Die Bewegungsratings wurden von W. P. durchgeführt. Für die Bürstbewegungen mit der Handzahnbürste wurden wieder fünf Videos per Zufall ausgewählt und von K. B. analysiert.

Die Übereinstimmung lag stets bei $ICC > 0,98$. Da, wie bereits erwähnt, für die Kalibrierung der Bürstbewegungen mit elektrischer Zahnbürste lediglich zwei Videos zur Verfügung standen, wurde hier die Anzahl Doppelratings auf zehn erhöht (die ersten fünf und fünf zufällig ausgewählte Videos). Die Übereinstimmung lag stets über $ICC = 0,87$.

Die gesamten Ergebnisse der Kalibrierung sowie der Prüfung der Interraterreliabilität nach der Videoanalyse sind dem Anhang zu entnehmen (siehe Anhang F, G).

2.5.2.3 Ablauf der Videoanalyse

Die Videoanalyse erfolgte in mehreren Durchgängen. Zunächst wurden die Videoaufnahmen des Tablet-PCs im Schnellvorlauf gesichtet, um zu prüfen, ob der Proband bei der Reinigung der Zähne zwischenzeitlich nicht im Bild zu sehen war. In diesem Fall, wurde in INTERACT eine Synchronisierung mit einer Aufzeichnung über die zusätzlichen Beobachtungskameras durchgeführt, sodass sich beide Videoaufnahmen gleichzeitig analysieren ließen. Da der Reinigungsvorgang über die Beobachtungskameras aus einer anderen Perspektive erfasst wurde, war es dadurch in der Regel möglich, den gesamten Vorgang zu beobachten; siehe auch Abbildungen 3-5.

Bürstdauer

Im nächsten Schritt wurde die Bürstdauer bestimmt. Diese beschreibt in der vorliegenden Arbeit die Zeit, in welcher die Zahnbürste die Zähne berührt und dabei bürstende Bewegungen erfolgen. Es soll an dieser Stelle betont werden, dass die hier definierte Bürstdauer damit nicht der gesamten Dauer des Reinigungsvorgangs entspricht. Start und Stopp des Verhaltenscodes war der erste bzw. letzte Kontakt der Zahnbürstenborsten mit den Zähnen. Unterbrechungen der Bürstdauer stellten dar: Mund ausspülen; Zunge putzen; Nutzung von Hilfsmitteln zur Interdentalraumhygiene; Borsten der Zahnbürste berühren zwar die Zähne, jedoch werden keine reinigenden Bewegungen ausgeführt, z.B. (bei Handzahnbürsten) Lösen des Griffes von der Zahnbürste. Der Verhaltens-Code „nicht beurteilbar“ wurde verwendet, wenn (selbst unter Zuhilfenahme der Videos der Beobachtungskameras) der Proband nicht im Bild zu sehen war oder sich so ungünstig wendete, dass die Position der Zahnbürste zu den Zähnen nicht beurteilt werden konnte.

Flächen

Anschließend wurde für die zuvor kodierten Zeiten des Bürstens erfasst, welche Zahnfläche (okklusal, vestibulär, oral) jeweils geputzt wurden. Teilweise war anhand des Anstellwinkels der Zahnbürste nicht eindeutig beurteilbar, ob der Proband in diesem Moment okklusal oder vestibulär bzw. oral putzte. Da es unwahrscheinlich war, dass die Borsten den Zahnfleischrand erreichen, wenn die Position der Bürste nicht eindeutig den Seitenflächen zuzuordnen war, entschied man sich in solchen Zweifelsfällen für die okklusale Fläche. Das Nichterreichen des

Zahnfleischrandes mit den Borsten der Zahnbürste war ebenfalls der Grund dafür, dass auch im Frontzahnbereich okklusal geratet wurde, obwohl die Frontzähne keine Kaufläche als solche besitzen.

Sextanten

Das Rating der Sextanten wurde nur für die Zeiten durchgeführt, in denen die vestibulären und oralen Flächen geputzt wurden, da sich nur diese Bürstzeiten auch auf die Plaquefreiheit am Gingivarand auswirken können. Dabei wurde erfasst, in welchem Sextanten sich die Bürste jeweils befand. Hierzu wurde jeder Kiefer in den Frontzahnbereich und die beiden Seitenzahnbereiche aufgeteilt (Sextant 1 - 6). Ein Sextantenwechsel wurde ab dem Zeitpunkt kodiert, zu dem der erste Zahn des neuen Sextanten zum größten Teil mit der Zahnbürste erreicht wurde. Bei den vestibulären Flächen können, im sog. Tigerbiss, also mit aufeinanderliegenden Zähnen, die oberen und unteren Sextanten gleichzeitig geputzt werden (Sextant 1/6; Sextant 2/5; Sextant 3/4). Für spätere Analysen wurde die Zeit, in der diese Doppelsextanten geputzt wurden, gleichmäßig auf die jeweiligen einzelnen Sextanten verteilt.

Bürstbewegungen

Im nächsten Durchgang wurden die ausgeführten Bürstbewegungen erfasst. Auch diese wurden nur für die Zeiträume beurteilt, in denen vestibuläre und orale Flächen geputzt wurden. Beim manuellen Bürsten wurden horizontale, vertikale und kreisende Bewegungen unterschieden. Weiterhin nutzen einige wenige Probanden die modifizierte Bass-Technik für die Reinigung der Zähne. Da sich diese Technik aus unterschiedlichen Bewegungen zusammensetzt, wurde sie der Einfachheit halber als separater Verhaltenscode in das Kodiersystem aufgenommen. Beim Abspielen von Zahnputzvideos zum manuellen Bürsten wurde ein Tempo von 0,4 nicht unterschritten, da ein zu langsames Abspielen der Videos zu einer verzerrten Wahrnehmung der Putzbewegungen führen könnte (sehr langsam abgespielte kreisende Bewegungen erscheinen beispielsweise eher als horizontale Bewegungen). Bei elektrischen Putzern galt es, integrierte manuelle Putzbewegungen von der passiven Reinigung der Zähne (keine integrierten manuellen Putzbewegungen) zu unterscheiden. Als integrierte manuelle Putzbewegungen wurden dabei solche Bewegungen kodiert, die eindeutig nicht nur der örtlichen Verlagerung der Bürste dienen, sondern für sich genommen ebenfalls einen Reinigungseffekt auslösen könnten. Hierbei wurde eine Abspielgeschwindigkeit von 0,8 festgelegt. Bei diesem Tempo hatten beide Rater den Eindruck, dass einerseits die Bewegungsgeschwindigkeit angemessen eingeschätzt werden konnte und andererseits kein Ereignis übersehen wurde.

Putzhand und Zahnzwischenraumhygiene

Im letzten Durchgang der Videoanalyse wurde erfasst, mit welcher Hand die Probanden putzten und ob Hilfsmittel zur Interdentalraumpflege genutzt wurden. Da in vorherigen Studien

zum manuellen Bürstverhalten vergleichsweise wenige Probanden Zahnzwischenraumpflege ausübten, wurde in der vorliegenden Arbeit lediglich dichotom codiert, ob Hilfsmittel zur Interdentalhygiene genutzt worden waren oder nicht.

Systematik

Als Indikator für systematisches Putzen ging in der vorliegenden Arbeit der Variationskoeffizient (VK; siehe Harnacke et al. 2015) in die spätere Regressionsanalyse ein. Dieser beschreibt die gleichmäßige Verteilung der Bürstdauer über die Sextanten und deren Flächen (oral vs. vestibulär). Für jeden Probanden liegen also die Bürstdauerdaten von 12 Flächensextanten (6 vestibulär, 6 oral) vor. Der VK errechnet sich dann aus der Standardabweichung (SD) dieser Daten geteilt durch den Mittelwert (MW)

$$VK = SD / MW$$

Zur Deskription der Qualität des Bürstens der vestibulären und oralen Flächen wurde der Qualitätsindex nach Deinzer et al. (2018a; QIT-S [Quality index of toothbrushing regarding brushing time in sextants]) herangezogen. Folgende Werte werden unterschieden:

QIT-S-0	0 Sextanten wurden > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-1	1 Sextant wurde > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-2	2 Sextanten wurden > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-3	3 Sextanten wurden > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-4	4 Sextanten wurden > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-5	5 Sextanten wurden > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-6	alle Sextanten wurden > 1 Sekunde geputzt
QIT-S-7	alle Sextanten wurden > 3,5 Sekunde geputzt
QIT-S-8	alle Sextanten wurden > 5 Sekunde geputzt
QIT-S-9	alle Sextanten wurden > 7,5 Sekunde geputzt

Eine Bürstdauer von weniger als einer Sekunde innerhalb eines Sextanten wird als Vernachlässigung des Sextanten gewertet; die Werte QIT-S-0–6 beschreiben das Ausmaß dieser Vernachlässigung. Der höchste Wert (QIT-S-9) leitet sich von der empfohlenen Zahnputzdauer von 2 Minuten ab (European Federation of Periodontology 2017) ab. Angenommen, man verwendet 30 Sekunden der Bürstzeit für die Kauflächen, so bleiben jeweils 45 Sekunden für orale und vestibuläre Flächen. Eine gleichmäßige Verteilung dieser Zeit resultiert in 7,5 Sekunden pro Sextant. Als weitere Zwischenschritte wurden eine Bürstzeit von mindestens 3,5 Sekunden (QIT-S-6) bzw. 5 Sekunden (QIT-S-8) aller Sextanten angesetzt.

Tabelle 1 Darstellung des Ablaufs der Videoanalyse anhand der Verhaltenscodes des finalen Kodiersystems.

Interact gruppiert Verhaltenscodes in Klassen, Verhaltenscodes können als Dauer oder als einzelnes Ereignis erfasst werden.

zeitlicher Verlauf	Kategorie	Verhaltenscode
1. Durchgang	Bürstdauer	Bürstbewegungszeit
		nicht beurteilbar
2. Durchgang	Fläche	okklusal
		vestibulär
		oral
3. Durchgang	Sextant	Sextant 1
		Sextant 2
		Sextant 3
		Sextant 4
		Sextant 5
		Sextant 6
		Sextant 1/6
		Sextant 2/5
		Sextant 3/4
4. Durchgang	Bewegung [elektrisch]	integrierte manuelle Bewegung
		keine integrierte manuelle Bewegung
	Bewegung [manuell]	horizontale Bewegung
		kreisende Bewegung
		vertikale Bewegung
		modifizierte Bass-Technik
5. Durchgang	Interdentalhygiene	Nutzung von Hilfsmitteln
		keine Nutzung von Hilfsmitteln
	Händigkeit	rechts
		links
		Handwechsel

2.6 Soziodemografische Parameter

Um die Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen (elektrisch vs. manuell) zu überprüfen, wurden folgende soziodemografische Parameter erfasst. Im Rahmen des strukturierten Interviews wurden Alter und Geschlecht der teilnehmenden Probanden vermerkt. Weiterhin wurde der höchste Bildungsabschluss der Eltern als Katalogfrage abgefragt. Folgende Antwortmöglichkeiten standen zur Auswahl: kein Schulabschluss, Haupt- / Realschulabschluss, (Fach-) Abitur, akademischer Abschluss (Bachelor, Master, Diplom, Promotion), unbekannt. Für die Auswertung wurden Kategorien (mindestens ein Elternteil hat Abitur vs. kein Elternteil hat Abitur) gebildet. Weiterhin wurde das Rauchverhalten abgefragt; ab einem Zigarettenkonsum von fünf Zigaretten pro Tag wurden Teilnehmende als Raucher eingestuft.

2.7 Vergleich Handzahnbürste vs. elektrische Zahnbürste

Unter anderem vergleicht die vorliegende Arbeit habituelle Nutzer einer elektrischen mit Nutzern einer manuellen Zahnbürste hinsichtlich Plaquefreiheit nach Putzen nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit ihrer eigenen Zahnbürste. Der Bürstentyp (elektrisch vs. manuell) stellt hierbei eine *quasiexperimentelle* Variable dar. Im Rahmen dieser Fragestellung war ursprünglich auch ein experimenteller Vergleich geplant. Wie zuvor angegeben, wurden Probanden, die sowohl regelmäßig mit einer Handzahnbürste, als auch mit einer elektrischen Zahnbürste putzen, der Gruppe der „Hybride“ zugeordnet. Probanden dieser Gruppe sollten randomisiert und stratifiziert nach Geschlecht und höchstem Bildungsabschluss der Eltern den Vergleichsgruppen (elektrisch vs. manuell) zugeordnet werden. Der Bürstentyp (elektrisch vs. manuell) repräsentierte hierbei eine experimentelle Variable. Randomisierung und Stratifizierung wurden von einer Person durchgeführt, die nicht in die klinische Untersuchung involviert war. Per Losverfahren wurde unmittelbar vor dem Untersuchungstermin entschieden, welchen Bürstentyp die Probanden für das Putzen im Labor verwenden. Das Losverfahren wurde wie folgt durchgeführt: Für jedes Geschlecht gab es zwei gleiche, undurchsichtige, verschlossene Behältnisse, jeweils für „mindestens ein Elternteil Abitur“ und „kein Elternteil Abitur“. In jedem der Behältnisse befanden sich wiederum zwei Lose mit der jeweiligen Gruppenbezeichnung (elektrisch, manuell). Ursprünglich war eine separate Analyse für die Gruppe der „Hybride“ geplant. Im Laufe des Rekrutierungsprozesses entsprachen lediglich zehn Personen den Kriterien für die Zuordnung zu dieser Gruppe, damit wurde eine separate Analyse überflüssig (siehe Abbildung 1).

2.8 Forschungshypothesen und statistische Datenanalyse

Zunächst werden im Folgenden noch einmal die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit dargestellt:

Hauptfragestellungen:

- 1) Wie plaquefrei sind habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit ihrer Zahnbürste?
- 2) Können durch die Beobachtung des Bürstverhaltens Verhaltensweisen habitueller elektrischer Putzer identifiziert werden, die mit Plaquefreiheit nach Putzen in Verbindung stehen?

Nebenfragestellungen:

- 3) Unterscheiden sich habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit ihrer Zahnbürste hinsichtlich Plaquefreiheit nach Putzen von habituellen Nutzern einer Handzahnbürste?
- 4) Können durch die Beobachtung des Bürstverhaltens bei einer Stichprobe von Studierenden Verhaltensweisen habitueller manueller Putzer identifiziert werden, die mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen?

Die Stichprobengröße wurde für den Gruppenvergleich hinsichtlich der Plaquefreiheit nach Putzen berechnet (G*Power), um mittlere Effektstärken bei einer α -Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % und einer Testpower von 80 % zu entdecken. Es ergab sich eine benötigte Stichprobengröße von $N = 50$ pro Gruppe. Um eventuelle Ausschlüsse kompensieren zu können wurden $N = 115$ Probanden (elektrisch $N = 55$; manuell $N = 60$) rekrutiert. Da die angestrebte Stichprobengröße für die habituellen Nutzer einer Handzahnbürste im Rekrutierungsverlauf zuerst erreicht wurde, entschied man sich dafür, einige zusätzliche manuelle Putzer zu rekrutieren. So sollte vermieden werden, dass gegen Ende der Datenerhebung ausschließlich Nutzer einer elektrischen Zahnbürste untersucht werden, was zu Verzerrungen hätte führen können, da in diesem Fall u. a. die Anzahl der vorher vom Untersucher analysierten Probanden und die Jahreszeit als Störvariablen hätten fungieren können. Auch wäre bei weiterer ausschließlicher Suche nach Probanden mit elektrischen Zahnbürsten die Verblindung des Untersuchers zum Ende der Studie hin gefährdet gewesen.

Die weitere statistische Datenanalyse erfolgte mittels SPSS (IMB) Version 24.

Die Plaquewerte wurden wie folgt für jede Person aggregiert: Beim MPI wurden angefärbte Stellen in Prozent angegeben. Der TQHI wurde als Mittelwert dargestellt. Der Papillenblutungsindex, welcher für die Beurteilung der gingivalen Entzündung herangezogen

wurde, ist ein gradueller Index, der die Intensität der Blutung in vier unterschiedlichen Schweregraden erfasst. Da bei der vorliegenden Stichprobe selten hohe Werte (Grad 3, 4) registriert wurden, verwendete man neben dem Mittelwert, den Prozentsatz blutender Messstellen zu verwenden.

Die Prüfung aller Parameter auf Normalverteilung erfolgte mittels Kolmogorof-Smirnov-Test sowie visueller Inspektion der Verteilung mittels Histogramm. Die Normalverteilungsannahme galt als verletzt, wenn der Test ein signifikantes Ergebnis zeigte ($p \leq 0.05$) und die visuelle Inspektion eine deutliche Abweichung von der Normalverteilung erkennen ließ. Nicht normalverteilte Daten werden in Form des Medians mit erstem und drittem Quartil berichtet. Die Daten wurden auf Ausreißerwerte überprüft, welche als Werte, die zwei oder mehr Standardabweichungen vom Mittelwert abweichen, definiert wurden. Da sich jedoch keine starke Verzerrung der Mittelwerte durch Ausreißerwerte erkennen ließ, sollen Mittelwerte des vollständigen Datensatzes inklusive Ausreißerwerte berichtet werden. Im Anhang sind dieselben Analysen nach Ausschluss von Ausreißerwerten dargestellt (siehe Anhang H).

Die Vergleichbarkeit der Gruppen hinsichtlich der Kontrollvariablen wurde mittels χ^2 -Test bei Häufigkeitsverteilungen (Geschlecht; höchster Bildungsabschluss der Eltern; Raucher) bzw. t-Test für Mittelwertsvergleiche (Alter) überprüft. Der Gruppenvergleich hinsichtlich der Plaquewerte vor der Reinigung der Zähne sowie Gingivitis erfolgte für normalverteilte Daten mittels t-Test und für nicht normalverteilte Daten mittels Mann-Whitney-U-Test.

Zur Beantwortung der Hauptfragestellung 1 werden Plaquewerte nach dem Putzen deskriptiv dargestellt. Für die Überprüfung der Nebenfragestellung 1 wurden Gruppenvergleiche mittels t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Hierfür wurde das Signifikanzniveau auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Zur Überprüfung der Haupt- und Nebenfragestellungen 2 wurden multiple lineare Regressionsanalysen mit der Methode „Einschluss“ durchgeführt. Um zu prüfen, welche Variablen dabei das relativ größte Gewicht haben, wurden zusätzlich Regressionsanalysen mit der Methode „Rückwärts“ durchgeführt. Da es sich hierbei um eine explorative Analyse handelt, wurde bei dieser Methode das Signifikanzniveau für Prädiktorvariablen auf $\alpha = 0,1$ festgelegt. Es erfolgten getrennte Analysen für Nutzer elektrischer respektive manueller Zahnbürsten. Die Kriteriumsvariable war die Plaqueanlagerung nach Putzen (MPI). Folgende Verhaltensparameter gingen als Prädiktoren in das Modell für elektrische Zahnbürsten ein: Bürstdauer (ohne okklusale), Variationskoeffizient und die Dauer integrierter manueller Bewegungen. Für das Modell zum manuellen Bürsten gingen folgende Prädiktoren ein: die Dauer horizontaler, kreisender und vertikaler Bewegungen sowie der Variationskoeffizient. Bei den Regressionsanalysen wurden Ausreißerwerte nach folgendem Vorgehen ausgeschlossen. Zunächst wurden über Hebelwerte Ausreißer bei Prädiktoren ausgeschlossen; für die Berechnung der Hebelwerte

wurde die Formel $(2xp)/n$ nach Igo (2010) für einigermaßen große Datensätze ($n-p > 50$) verwendet. Da bei den separaten Regressionsanalysen bei Nutzern einer rotierend-oszillierenden Zahnbürste der Marke *Oral-B* keine Fallzahl > 50 erreicht wurden, setzte man hier nach Huber (1981) den cut-off Wert bei 0,2 an. Danach wurden Ausreißer des Kriteriums über studentisierte Residuen kontrolliert, wobei Abweichungen des Residuums > 2 ausgeschlossen wurden. Anschließend wurden über Prüfung auf Multikollinearität Variablen mit einem VIF > 10 ausgeschlossen.

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung der Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 82 weiblichen und 33 männlichen Teilnehmern mit einem mittleren Alter von $24,47 \pm 3,17$ Jahren. 38 Probanden gaben an, mindestens ein Elternteil mit Abitur zu haben, zwei Probanden war der höchste Bildungsabschluss ihrer Eltern unbekannt. Insgesamt fünf Teilnehmer wurden als Raucher eingestuft. Habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste unterschieden sich bezüglich der soeben beschriebenen soziodemografischen Parameter nicht signifikant von habituellen Nutzern einer Handzahnbürste: Alter ($T(113) = 0,245$; $p = 0,807$), Geschlecht ($\chi^2(1) = 1,76$; $p = 0,218$), höchster Bildungsabschluss der Eltern ($\chi^2(2) = 0,01$; $p = 0,996$), Rauchen ($\chi^2(1) = 0,128$; $p = 0,72$).

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse hinsichtlich der festgestellten Zahnbefunde und parodontaler Parameter. Signifikante Gruppenunterschiede wurden hinsichtlich der Anzahl kariöser Läsionen, überkronter Zähne sowie Rezessionen verzeichnet.

Tabelle 2 Gruppenvergleich hinsichtlich Zahnbefund und parodontaler Parameter.

	elektrisch N=55	manuell N=60	p-Wert
Anzahl der Zähne	MW (Min/Max)	MW (Min/Max)	
	28,76 (24/32)	28,45 (24/32)	0,35*
Zahnbefund	0/1-5/>5 Zähne	0/1-5/>5 Zähne	
gefüllt (N)	17/24/14	25/29/6	0,09 ^x
kariös (N)	55/0/0	55/5/0	0,06 ^x
überkront (N)	47/8/0	59/1/0	0,01^x
Parodontale Parameter	0/1-5/>5 Messstellen	0/1-5/>5 Messstellen	
Sondierungstiefen >3mm (N)	33/19/3	36/18/6	0,65 ^x
Rezessionen ¹ (N)	34/13/8	25/27/8	0,05^x

MW: Mittelwert; Min: Minimum; Max: Maximum; * t-Test; ^x Chi²-Test

¹Die gemessenen Rezessionen lagen im Bereich von 1 – 3 mm; Rezessionen > 3 mm wurden bei der hier untersuchten Stichprobe nicht beobachtet.

Hinsichtlich der Plaquewerte vor Reinigung der Zähne und der Zahnfleischentzündung unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant voneinander (alle $p \geq 0,05$; siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 Gruppenvergleich hinsichtlich Plaquewerte vor Reinigung der Zähne und Gingivitis.

	elektrisch N=55 MW±s Median (1.Q; 3.Q) ⁺	manuell N=60 MW±s Median (1.Q; 3.Q) ⁺	p-Wert
Plaqueswerte vor Putzen			
MPI gesamt % angefärbte Stellen	58,35±21,18	62,29±18,78	0,29*
MPI vestibular % angefärbte Stellen	57,35±25,16	58,85±23,63	0,74*
MPI oral % angefärbte Stellen	59,35±22,76	65,72±18,69	0,10*
MPI approximal % angefärbte Stellen	62,23±20,56	66,29±19,09	0,28*
MPI zervikal % angefärbte Stellen	54,47±22,60	58,29±19,26	0,33*
TQHI gesamt	1,69±0,61	1,77±0,51	0,46*
TQHI vestibulär	1,83±0,77	1,87±0,67	0,73*
TQHI oral	1,55±0,58	1,66±0,51	0,28*
Gingivitis			
PBI gesamt	0,13 (0,05; 0,22)	0,15 (0,10; 0,25)	0,74 [†]
PBI vestibulär	0,11 (0,04; 0,18)	0,08 (0,04; 0,19)	0,33 [†]
PBI oral	0,17 (0,07; 0,32)	0,20 (0,11; 0,32)	0,40 [†]
% blutende Stellen gesamt	9,38 (3,57; 14,29)	9,09 (5,58; 15,35)	0,33 [†]
% blutende Stellen vestibulär	7,14 (3,57; 14,29)	3,64 (3,18; 18,89)	0,60 [†]
% blutende Stellen oral	13,47±12,98	13,80±9,66	0,88*

MW: Mittelwert; s: Standardabweichung; Q: Quartil; ⁺ Median und Quartilgrenzen werden dann angegeben, wenn die Normalverteilungsannahme verworfen werden musste; * t-Test; [†] U-Test

Die Teilnehmer der vorliegenden Studie reinigten die Zähne mit ihrer eigenen Zahnbürste. Da sich bei der Rekrutierung der Probanden nicht auf ein bestimmtes Bürstenmodell beschränkt wurde, sollen folgend die genutzten Zahnbürsten näher beschrieben werden: Alle elektrischen Bürstenmodelle (N = 55) wurden mithilfe eines aufladbaren, integrierten Akkus betrieben. 48 Probanden nutzten eine rotierende-oszillierende Zahnbürste (Braun Oral-B N = 45; andere Hersteller N = 3) und 6 Probanden putzten mit einer Schallzahnbürste (Philips Sonicare N = 5, Braun Oral-B N = 1). Ein Proband nutzte die Zahnbürste Professional Care Triump von Oral-B mit TriZone-Bürstenkopf. Hinsichtlich der Handzahnbürsten zeigte sich, dass 52 Probanden eine Zahnbürste mit geradestehenden Borsten (planes Borstenfeld N = 13; gewelltes Borstenfeld N = 39) und 8 Probanden eine Zahnbürste mit schräg angeordneten Borsten nutzten. 7 % der Zahnbürsten wiesen mit einem Besteckungsfeld von ≤ 25 mm einen vergleichsweise kurzen Bürstkopf auf; die restlichen Zahnbürsten zeigten ein Besteckungsfeld zwischen 25 und 30 mm.

3.2 Hauptfragestellung 1: Plaquefreiheit nach Reinigung mit elektrischer Zahnbürste

Bei habituellen Nutzern einer elektrischen Zahnbürste zeigten sich nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit eigener Elektrozahnbürste durchschnittlich 39,26 % ($\pm 19,66$) der Messstellen plaquebehaftet. Orale Flächen wiesen mehr angefärbte Stellen auf als vestibulären Flächen. Die zervikalen Flächen wiesen im Vergleich zu den approximalen Flächen weniger Anfärbungen auf. Für den TQHI lag der Mittelwert unmittelbar nach der Reinigung der Zähne bei 1,21 ($\pm 0,58$); dabei zeigten die oralen Flächen geringere Werte als die vestibulären Flächen; siehe Tabelle 4.

Tabelle 4 Plaquewerte nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.

	elektrisch N=55	
	Mittelwert (MW)	Standardabweichung (s)
MPI gesamt % angefärbte Stellen	39,26	19,66
MPI vestibulär % angefärbte Stellen	35,53	23,30
MPI oral % angefärbte Stellen	42,99	22,63
MPI approximal % angefärbte Stellen	42,45	19,67
MPI zervikal % angefärbte Stellen	36,07	20,35
TQHI gesamt	1,21	0,58
TQHI vestibulär	1,25	0,74
TQHI oral	1,16	0,56

Die Verteilung der Daten ist in den Abbildungen 6-8 nochmals differenziert dargestellt.

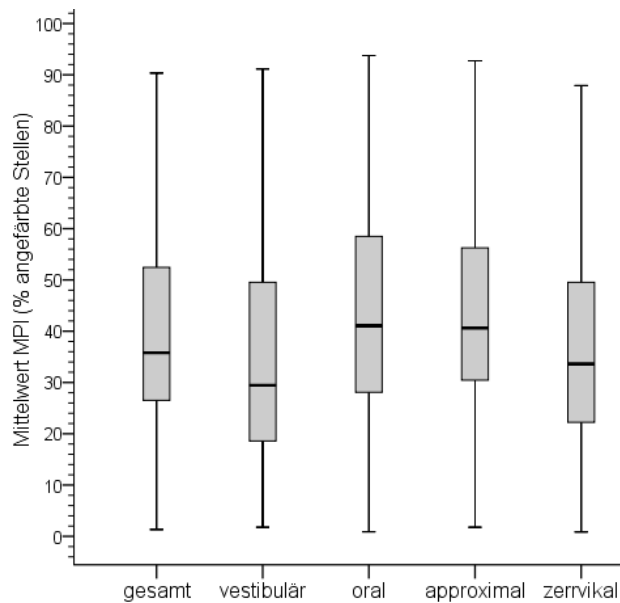


Abbildung 6 Boxplot des MPI nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.

Die Linie in der Box stellt den Median dar, die obere und die untere Begrenzung zeigen das 25 % bzw. das 75 % Quartil an. Die Whisker bilden grafisch den höchsten bzw. tiefsten Wert ab, welcher noch innerhalb der Grenzen für Ausreißerwerte liegt, wobei die Länge der Whisker auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt ist. Punkte repräsentieren Ausreißerwerte.

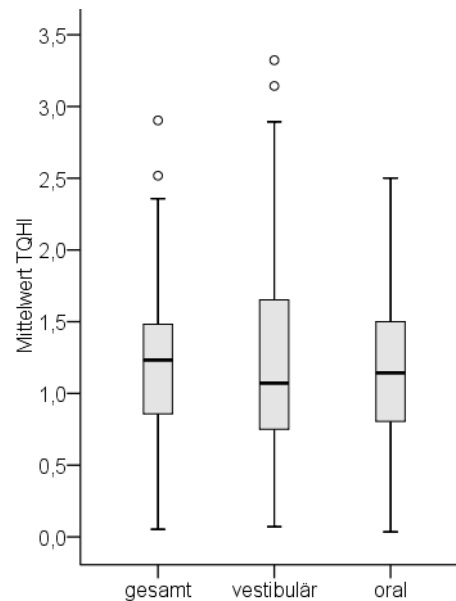


Abbildung 7 Boxplot des TQHI nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.

Die Linie in der Box stellt den Median dar, die obere und die untere Begrenzung zeigen das 25 % bzw. das 75 % Quartil an. Die Whisker bilden grafisch den höchsten bzw. tiefsten Wert ab, welcher noch innerhalb der Grenzen für Ausreißerwerte liegt, wobei die Länge der Whisker ist auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt ist. Punkte repräsentieren Ausreißerwerte.

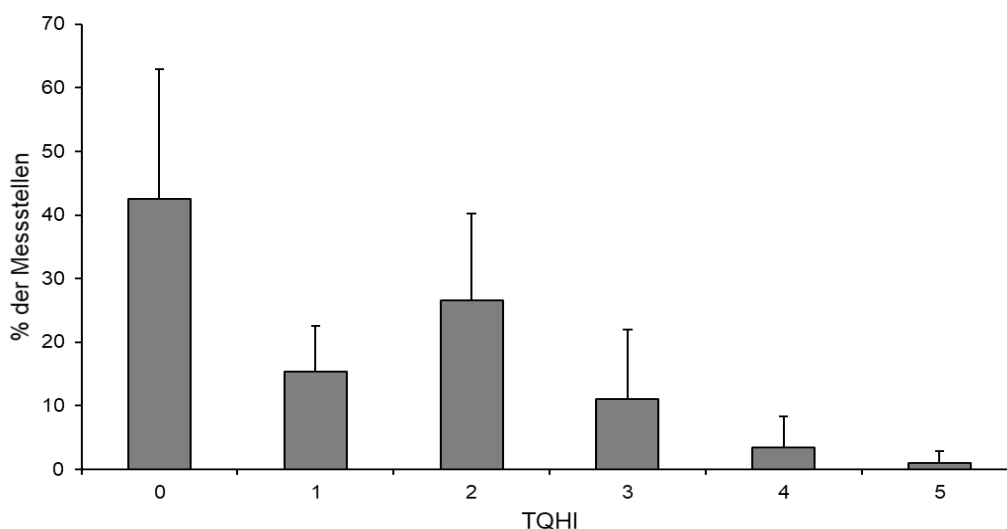


Abbildung 8 Prozentuale Verteilung der TQHI-Werte nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.

3.3 Nebenfragestellung 1: Vergleich elektrisch vs. manuell hinsichtlich Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne

Der Gruppenvergleich hinsichtlich des MPI gesamt nach der Reinigung der Zähne zeigte keinen signifikanten Unterschied ($T(113) = 0,637$; $p = 0,526$). Dies gilt ebenfalls für den MPI vestibulär ($T(113) = -0,089$; $p = 0,929$), den MPI oral ($T(113) = 1,136$; $p = 0,258$), den MPI approximal ($T(113) = 0,634$; $p = 0,528$) und den MPI zervikal ($T(113) = 0,608$; $p = 0,545$); siehe auch Abbildung 9.

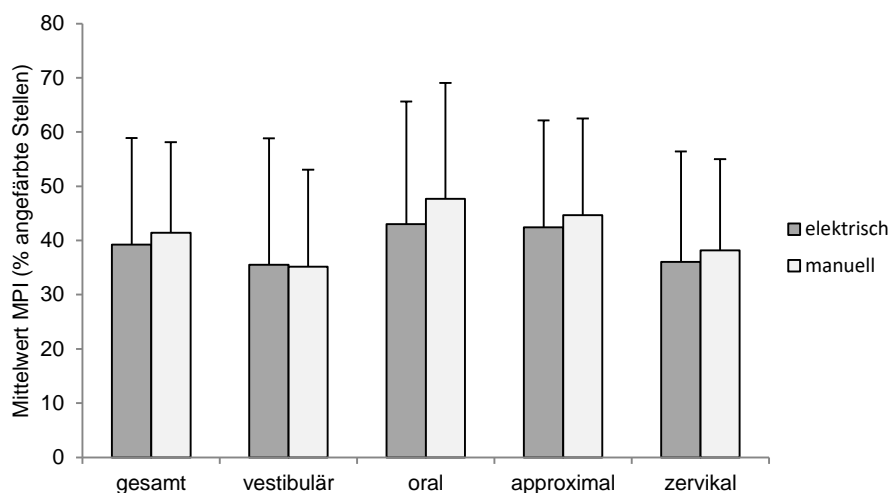


Abbildung 9 MPI nach bestmöglicher Reinigung der Zähne.

Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung der angefärbten Messstellen in Prozent.

Weiterhin zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen für den TQHI gesamt ($T(113) = 0,3$; $p = 0,765$), den TQHI vestibulär ($T(113) = -0,208$; $p = 0,836$) und den TQHI oral ($T(113) = 0,82$; $p = 0,414$); siehe auch Abbildung 10.

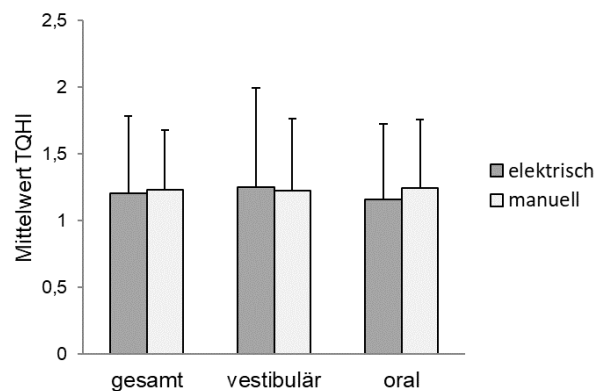


Abbildung 10 TQHI nach bestmöglicher Reinigung.

Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung.

3.4 Hauptfragestellung 2: Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten mit elektrischer Zahnbürste und Plaquefreiheit

3.4.1 Deskription des Bürstverhaltens mit elektrischer Zahnbürste

Folgend sollen zunächst die Daten zum beobachteten Bürstverhalten mit elektrischer Zahnbürste deskriptiv dargestellt werden; berichtet werden Mittelwert mit Standardabweichung.

Die gesamte Bürstdauer betrug durchschnittlich 223,36 Sekunden ($\pm 79,66$). Fünf Probanden putzten für kurze Zeit (maximal 5 % der gesamten Putzdauer) die okklusalen Flächen mit ausgeschalteter Bürste. An oralen und vestibulären Flächen wurde kein Bürsten mit ausgeschalteter elektrischer Zahnbürste beobachtet. Orale Flächen ($60,81 \pm 35,43$ Sek.) wurden deutlich kürzer geputzt als vestibuläre Flächen ($102,36 \pm 46,44$ Sek.). Die prozentuale Verteilung der Bürstdauer auf die Zahnflächen ist in Abbildung 11 dargestellt. Der Variationskoeffizient betrug 0,53 ($\pm 0,21$). Zur grafischen Darstellung der Bürstdauer (ohne okklusal) aufgeteilt nach vestibulären und oralen Sextanten ist in den Abbildungen 13 und 14 der Qualitätsindex nach Deinzer et al. (2018a) dargestellt. Alle Probanden erreichten die vestibulären Sextanten für mindestens eine Sekunde; $N = 35$ putzten alle vestibulären Sextanten für mindestens 7,5 Sekunden. Dagegen erreichten insgesamt 18 Probanden nicht alle oralen Sextanten für mindestens eine Sekunde. Über nahezu die Hälfte ($47,96 \pm 33,21$ %) der Bürstzeit an den Seitenflächen wurden manuelle Bürstbewegungen mit der elektrischen Zahnbürste kodiert. Lediglich 10 Probanden führten zu über 90 % der Bürstzeit (ohne okklusal) keine manuellen Bürstbewegungen beim Putzvorgang aus; siehe auch Abbildung 12. 42 % der Probanden nutzten Hilfsmittel zur Zahnzwischenraumhygiene.

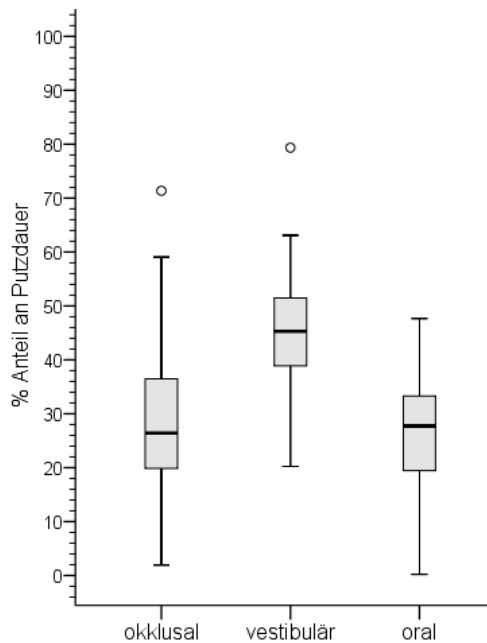


Abbildung 11 Prozentuale Verteilung der Bürstdauer auf die Zahnflächen bei Nutzern einer elektrischen Zahnbürste.

Die Linie in der Box stellt den Median dar, die obere und die untere Begrenzung zeigen das 25 % bzw. das 75 % Quartil an. Die Whisker bilden grafisch den höchsten bzw. tiefsten Wert ab, welcher noch innerhalb der Grenzen für Ausreißerwerte liegt, wobei die Länge der Whisker auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt ist. Punkte repräsentieren Ausreißerwerte.

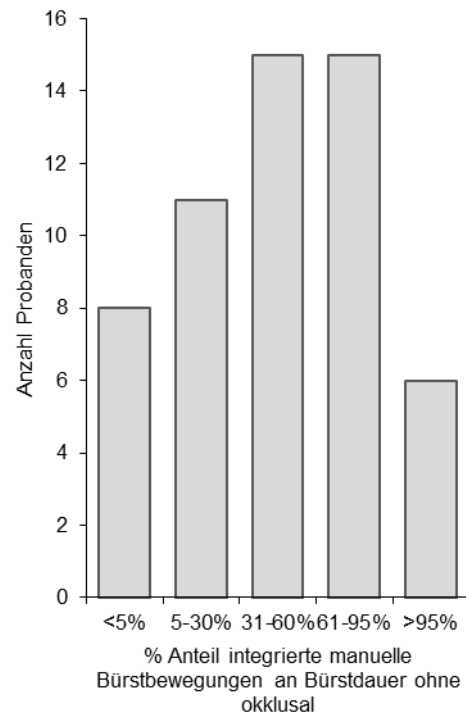


Abbildung 12 Elektrisches Bürsten mit integrierten manuellen Bewegungen.

Dargestellt ist die Anzahl der Probanden, die während weniger als 5 %, bzw. während 5 - 30 %, 31 - 60 %, 61 - 95 % und mehr als 95 % der Putzzeit der Seitenflächen manuelle Bewegungen integrieren.

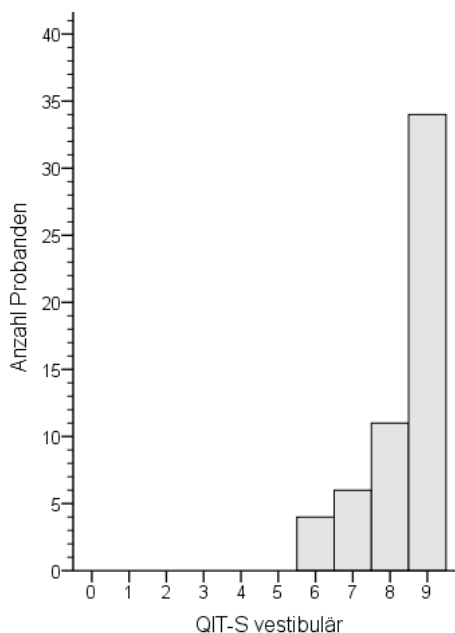


Abbildung 13 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in vestibulären Sextanten bei Nutzern einer elektrischen Zahnbürste.

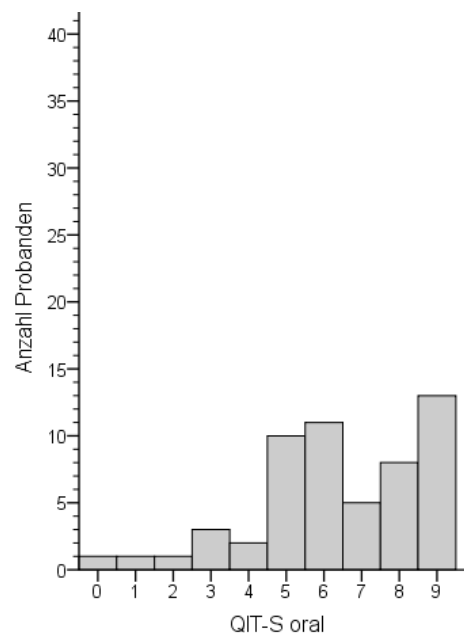


Abbildung 14 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in oralen Sextanten bei Nutzern einer elektrischen Zahnbürste.

3.4.2 Regressionsanalyse

Nach Anwendung der Regeln für den Ausschluss von Ausreißerwerten in den Prädiktoren und im Kriterium gingen insgesamt $N = 47$ in die multiple Regressionsanalyse ein. Die Regressionsanalyse unter Einbezug aller Prädiktoren (Methode Einschluss) ergab ein signifikantes Modell mit einer Varianzaufklärung von 35,0 % ($R^2 = 0,350$; korr. $R^2 = 0,305$; $F = 7,720$; $p < 0,001$). Die β -Gewichte und p-Werte der jeweiligen Prädiktoren sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach elektrischer Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Einschluss).

	β	p
Bürstdauer	0,267	0,056
Variationskoeffizient	-0,349	0,015
Integrierte manuelle Bürstbewegungen	0,151	0,274

Die multiple Regressionsanalyse nach der „Rückwärts“-Methode ergab ein signifikantes Modell mit zwei Variablen, der Bürstdauer und dem Variationskoeffizienten, welche zusammen 33,2 % der Varianz in der Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne aufklärten ($R^2 = 0,332$; korr. $R^2 = 0,301$; $F = 10,991$; $p < 0,001$). Die β -Gewichte und p-Wert des jeweiligen Prädiktors sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach elektrischer Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Rückwärts).

	β	p
Bürstdauer	0,303	0,027
Variationskoeffizient	-0,392	0,005

3.5 Nebenfragestellung 2: Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten mit manueller Zahnbürste und Plaquefreiheit

3.5.1 Deskription des Bürstverhaltens mit manueller Zahnbürste

Analog zur Darstellung der Verhaltensparameter mit der elektrischen Zahnbürste, soll zunächst die deskriptive Darstellung der Verhaltensdaten der Videoanalyse für habituelle Nutzer einer Handzahnbürste erfolgen. Im Allgemeinen werden Mittelwert und Standardabweichung berichtet; vertikale Bürstbewegungen wiesen eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung auf ($p < 0,05$), weswegen hier der Median mit erstem und drittem Quartil dargestellt ist.

Die gesamte Bürstdauer betrug 208,65 Sekunden ($\pm 81,29$). Vestibuläre Flächen ($92,75 \pm 43,34$ Sek.) wurden im Vergleich zu oralen Flächen ($44,33 \pm 39,05$ Sek.) doppelt so lange geputzt. Die prozentuale Verteilung der Bürstdauer auf die Zahnflächen ist in Abbildung 15 dargestellt. Der Variationskoeffizient betrug 0,6 Sekunden ($\pm 0,26$). Zur grafischen Darstellung der Bürstdauer (ohne okklusal) aufgeteilt nach vestibulären und oralen Sextanten, ist in den Abbildungen 17 und 18 der Qualitätsindex nach Deinzer et al. (2018a) dargestellt. Alle Probanden erreichten alle vestibulären Sextanten für mindestens eine Sekunde; $N = 36$ putzten alle vestibulären Sextanten für mindestens 7,5 Sekunden. Dagegen erreichten insgesamt 24 Probanden nicht alle oralen Sextanten für mindestens eine Sekunde. In erster Linie wurden bei Nutzern einer Handzahnbürste kreisende ($58,57 \pm 38,40$ Sek.) und horizontale Bewegungen ($48,19 \pm 37,99$ Sek.) beobachtet; vertikale Bürstbewegungen wurden mit 8,8 Sekunden (0,57; 24,1) dagegen seltener beobachtet (siehe Abbildung 16). Lediglich drei Probanden nutzten die modifizierte Bass-Technik (nicht in Abbildung 16 dargestellt). 30 % der Probanden nutzten Hilfsmittel zur Zahnzwischenraumhygiene.

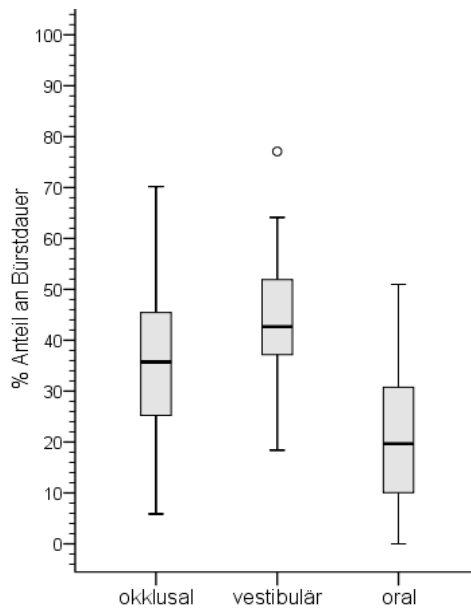


Abbildung 15 Prozentuale Verteilung der Bürstdauer auf die Zahnflächen bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.

Die Linie in der Box stellt den Median dar, die obere und die untere Begrenzung zeigen das 25 % bzw. das 75 % Quartil an. Die Whisker bilden grafisch den höchsten bzw. tiefsten Wert ab, welcher noch innerhalb der Grenzen für Ausreißerwerte liegt, wobei die Länge der Whisker auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt ist. Punkte repräsentieren Ausreißerwerte.

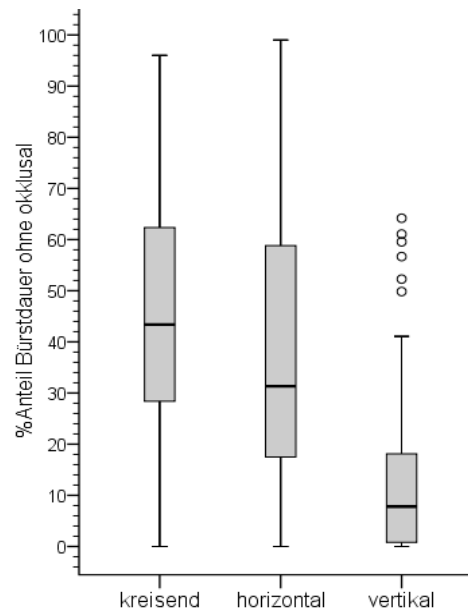


Abbildung 16 Prozentualer Anteil der Bürstbewegungen an der Bürstdauer ohne okklusal bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.

Die Linie in der Box stellt den Median dar, die obere und die untere Begrenzung zeigen das 25 % bzw. das 75 % Quartil an. Die Whisker bilden grafisch den höchsten bzw. tiefsten Wert ab, welcher noch innerhalb der Grenzen für Ausreißerwerte liegt, wobei die Länge der Whisker auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt ist. Punkte repräsentieren Ausreißerwerte.

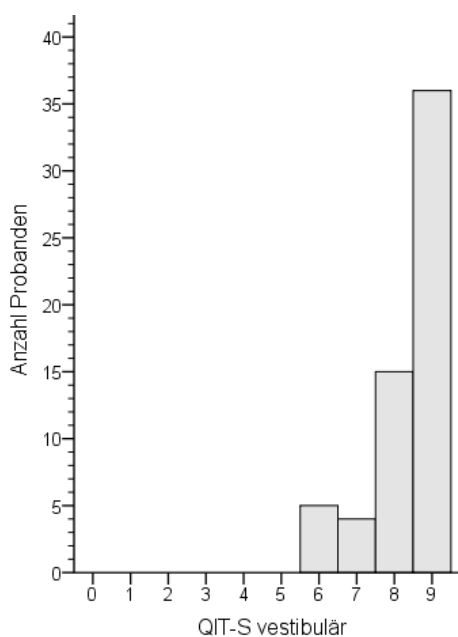


Abbildung 17 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in vestibulären Sextanten bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.

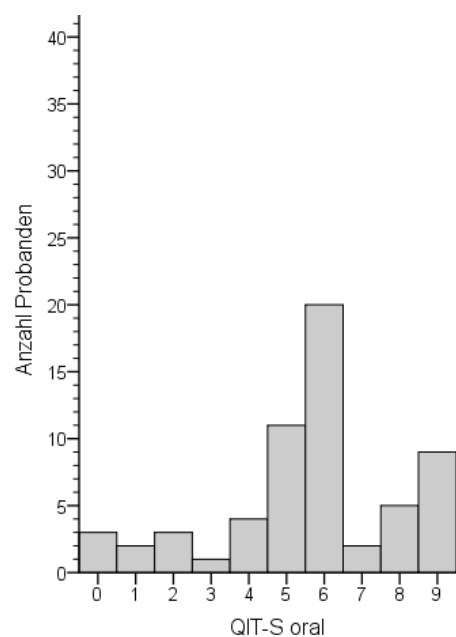


Abbildung 18 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in oralen Sextanten bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.

3.5.2 Regressionsanalyse

Nach Anwendung der Regeln für den Ausschluss von Ausreißerwerten in den Prädiktoren und im Kriterium gingen insgesamt $N = 52$ in die multiple Regressionsanalyse ein. Die Regressionsanalyse unter Einbezug aller Prädiktoren (Methode Einschluss) ergab ein signifikantes Modell mit einer Varianzaufklärung von 17,1 % ($R^2 = 0,171$; korr. $R^2 = 0,100$; $F = 2,418$; $p = 0,062$). Die β -Gewichte und p-Werte der jeweiligen Prädiktoren sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach manueller Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Einschluss).

	β	p
horizontale Bewegungen	0,233	0,117
kreisende Bewegungen	0,386	0,009
vertikale Bewegungen	-0,097	0,515
Variationskoeffizient	-0,215	0,143

Die multiple Regressionsanalyse nach der Methode „Rückwärts“ ergab ein signifikantes Modell mit einer Varianzaufklärung von 8,7 % ($R^2 = 0,087$; korr. $R^2 = 0,069$; $F = 4,793$; $p = 0,033$) hinsichtlich der Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne. Als signifikanter Prädiktor erwies sich die Dauer der kreisenden Bewegungen. β -Gewicht und p-Werte sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8 β -Gewicht und p-Wert des Prädiktors für Plaquefreiheit nach manueller Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Rückwärts)

	β	p
kreisende Bewegungen	0,296	0,033

3.6 Explorative Datenanalyse

3.6.1 Einfluss des Geschlechts

Zwar zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen elektrischen und manuellen Putzern hinsichtlich des Geschlechts, jedoch war insgesamt ein ungleiches Geschlechterverhältnis in der Stichprobe auffällig; 71 % der Teilnehmer waren weiblich. In der Literatur wird ein möglicher Einfluss des Geschlechts hinsichtlich der Plaquefreiheit diskutiert. Deswegen wurde eine Kovarianzanalyse mit dem MPI gesamt nach Reinigung der Zähne als abhängige Variable, dem Zahnbürstentyp (elektrisch, manuelle) als unabhängige Variable und dem

Geschlecht als Kovariate durchgeführt. Das Geschlecht als Kovariate hat keinen signifikanten Einfluss auf die Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne ($F(1) = 1,24$; $p = 0,27$). Weiterhin zeigt sich auch in dieser Kovarianzanalyse kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne ($F(1) = 0,44$; $p = 0,44$).

3.6.2 Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten mit rotierend-oszillierender Bürste von Oral-B und Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne

In der vorliegenden Studie nutzten 82 % der habituellen Nutzer einer elektrischen Zahnbürste ein rotierend-oszillierendes Bürstenmodell des Herstellers *Oral-B*. Deswegen erfolgt an dieser Stelle zunächst eine separate deskriptive Darstellung der klinischen Parameter sowie der Verhaltensdaten dieser Gruppe; siehe Tabelle 9.

Tabelle 9 Plaquewerte nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit rotierend-oszillierender Zahnbürste von Oral-B und beobachtete Verhaltensparameter.

	rotierend-oszillierende Bürsten von Oral B N=45	
	Mittelwert (MW)	Standardabweichung (s)
Plaquewerte nach Putzen		
MPI gesamt % angefärbte Stellen	39,26	20,55
MPI vestibular % angefärbte Stellen	36,11	23,67
MPI oral % angefärbte Stellen	42,42	24,07
MPI approximal % angefärbte Stellen	42,32	20,73
MPI zervikal % angefärbte Stellen	36,20	21,11
TQHI gesamt	1,20	0,60
TQHI vestibulär	1,26	0,75
TQHI oral	1,14	0,60
Verhaltensparameter		
Gesamte Bürstdauer (Sek)	221,02	81,44
okklusal (Sek)	59,41	34,31
vestibulär (Sek)	101,66	47,74
oral (Sek)	59,97	36,34
% Anteil integrierte manuelle Bürstbewegungen an Bürstdauer ohne okklusal	48,99	34,74
% Anteil keine eine integrierte manuelle Bürstbewegungen an Bürstdauer ohne okklusal	51,01	34,74
Variationskoeffizient	0,53	0,19

Weiterhin wurde eine separate Analyse statistischer Zusammenhänge zwischen Bürstverhalten und Plaquefreiheit durchgeführt. Dabei galt ebenfalls zu prüfen, ob durch die Beobachtung des Bürstverhaltens, Verhaltensweisen identifiziert werden können, die mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen.

Nach Anwendung der Regeln für den Ausschluss von Ausreißerwerten in den Prädiktoren und im Kriterium gingen insgesamt $N = 39$ in die multiple Regressionsanalyse ein. Die multiple

Regressionsanalyse nach der „Einschluss“-Methode ergab ein signifikantes Modell mit einer Varianzaufklärung von 56 % ($R^2 = 0,559$; korr. $R^2 = 0,521$; $F = 14,768$; $p < 0,001$). Die β -Gewichte und die p-Werte der jeweiligen Prädiktoren sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne mit rotierend-oszillierender Bürste von Oral-B (Regressionsanalyse Methode „Einschluss“).

	β	p
Bürstdauer	0,502	<0,001
Variationskoeffizient	-0,491	<0,001
Integrierte manuelle Bürstbewegungen	-0,094	0,478

Die Regressionsanalyse nach der Methode „Rückwärts“ ergab ein signifikantes Modell mit zwei Variablen, der Bürstdauer und dem Variationskoeffizienten, welche zusammen 55,2 % der Varianz in der Plaquefreiheit nach Reinigung aufklärten ($R^2 = 0,552$; korr. $R^2 = 0,527$; $F = 22,194$; $p < 0,001$). Die β -Gewichte und die p-Werte der in diesem Modell signifikanten Prädiktoren sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne mit rotierend-oszillierender Bürste von Oral-B (Regressionsanalyse Methode „Rückwärts“)

	β	p
Bürstdauer	0,466	<0,001
Variationskoeffizient	-0,467	<0,001

4 Diskussion

Im Hinblick auf die nun folgende Diskussion sollen vorab noch einmal die Kernpunkte der vorliegenden Untersuchung aufgezeigt werden.

Die Entfernung der Plaque stellt einen zentralen Faktor in der Prävention von Gingivitis und Parodontitis dar. Jüngste Studien belegen, dass Nutzer einer Handzahnbürste es nicht schaffen, durch das Zähneputzen weitgehend plaquefrei zu werden (Deinzer et al. 2016; Harnacke et al. 2012a; Harnacke et al. 2012b; Harnacke et al. 2016; Deinzer et al. 2018a; Deinzer persönliche Kommunikation). So ist es wenig verwunderlich, dass trotz der Angabe der Mehrheit der Erwachsenen, sich täglich die Zähne zu putzen, die Prävalenz parodontaler Erkrankungen hoch ist (Hoffmann und Schützhold 2016). Eine Alternative zu herkömmlichen Handzahnbürsten stellen elektrische Zahnbürsten dar. Studien zur Frage, inwiefern Nutzer einer elektrischen Zahnbürste in der Lage sind, Plaquefreiheit nach dem Putzen zu erreichen, fehlen bisher. Da davon auszugehen ist, dass habituelle Nutzer im Umgang mit ihrer Zahnbürste geübt sind, werden in der vorliegenden Studie diese habituellen Nutzer untersucht. Darüber hinaus liegt bisher erst eine Videobeobachtungsstudie zum Bürsten mit elektrischer Zahnbürste vor (Ganss et al. 2018). Nicht untersucht wurde hierbei der Zusammenhang zwischen beobachteten Verhaltensparametern des Bürstens (Putzdauer, erreichte Flächen bzw. Sextanten, Systematik und Putzbewegungen) und Plaquefreiheit nach dem Putzen. Dies stellt ein weiteres Hauptanliegen dieser Studie dar. Um die klinischen Daten besser einordnen zu können, wird außerdem eine Vergleichsgruppe habitueller Nutzer einer Handzahnbürste unter gleichen methodischen Bedingungen betrachtet. Bisherige Analysen zum manuellen Bürsten zeigen, dass die Bürstsystematik und die Dauer der kreisenden Bewegungen mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen (Ebel et al. 2018; Harnacke et al. 2015) – solche Analysen wurden für die Gruppe der Studierenden bislang nicht durchgeführt. Auch dies sollte in der vorliegenden Studie untersucht werden. Hierzu wurden Probanden gebeten, sich ihre Zähne mit der Zahnbürste, welche sie regelmäßig im häuslichen Umfeld nutzen (Handzahnbürste oder elektrische Zahnbürste), nach bestem Vermögen zu reinigen. Die Plaqueanlagerung wurde vor und nach der Reinigung der Zähne bestimmt. Der Reinigungsvorgang wurde dabei auf Video aufgezeichnet. Die Videoaufnahmen wurden hinsichtlich Bürstdauer, erreichter Flächen und Sextanten sowie der Bürstbewegungen analysiert. Anhand der Beobachtungsdaten und der erhobenen Plaquewerte wurde dann ermittelt, welche Parameter des Bürstens positiv mit Plaquefreiheit nach dem Zähneputzen in Verbindung stehen.

In den nun folgenden Abschnitten sollen die Forschungsfragen beantwortet und dann vertiefend diskutiert werden; dies erfolgt im Hinblick auf die Fragestellungen zunächst für die

klinischen Parameter und anschließend für die Analysen zum Zusammenhang zwischen klinischen Parametern und Verhaltensparametern. Danach wird auf Limitierungen der vorliegenden Untersuchung eingegangen. Schlussendlich wird aufgezeigt, welche zukünftigen Fragestellungen sich aus den Daten ergeben und was sich bereits jetzt für die zahnärztliche Praxis schlussfolgern lässt.

4.1 Interpretation und Einordnung der Ergebnisse

Im Folgenden wird zunächst betrachtet, inwiefern gewohnheitsmäßige Anwender einer elektrischen Zahnbürste in der Lage sind, ihre Zähne von Plaque zu befreien. Beachtet werden muss bei der Interpretation dieser Daten, dass 81 % der habituellen elektrischen Putzer eine rotierend-oszillierende Bürste von Oral-B nutzten und damit andere Bürstenhersteller respektive Bürsten mit anderem Bewegungsmuster, beispielsweise Schallzahnbürsten, deutlich unterrepräsentiert sind.

4.1.1 Klinische Parameter

Nach bestmöglicher Reinigung mit der elektrischen Zahnbürste ergab sich für den TQHI (Quigley und Hein 1962; Turesky et al. 1970) ein Mittelwert von 1,21. Die Betrachtung des Mittelwertes ist für eine inhaltliche Interpretation der Ergebnisse allerdings nur begrenzt geeignet. Betrachtet man die prozentuale Verteilung der Werte wird ersichtlich, dass hohe Werte (Grad 4 und 5), welche die Plaque im mittleren und oberen Kronendrittel beschreiben, selten registriert wurden. Die verbliebene Plaqueanlagerung beschränkt sich dagegen auf den marginalen Randsaum und das untere Kronendrittel (Grad 1–3). Damit deuten die Daten in erster Linie auf ein mangelndes Vermögen der Studienteilnehmer hin, Zahnbeläge im Bereich des Zahnfleischrandes gründlich zu entfernen. Zwar gilt der TQHI im Allgemeinen als valider und international anerkannter Index, jedoch ist eine differenziertere Betrachtung des Gingivarandbereiches nur bedingt möglich. Da dieser Bereich jedoch von hoher klinischer Relevanz für Gingivitis und Parodontitis ist, wurde hier zur Bewertung der marginalen Plaqueanlagerungen zusätzlich der Marginale Plaqueindex (MPI; Deinzer et al. 2014) erhoben. Neben der Unterscheidung oraler und vestibulärer Flächen bietet dieser Index die Möglichkeit, zwischen approximalen und zervikalen Bereichen zu differenzieren. Der MPI wurde bereits in vorherigen Studien validiert und zeigt eine hohe Änderungssensitivität. Hinsichtlich des MPIs wiesen in der vorliegenden Studie nach bestmöglicher Reinigung insgesamt weiterhin etwa 40 % der Messstellen Plaqueanlagerungen auf. Dabei zeigten orale Flächen im Vergleich zu vestibulären Flächen, sowie die approximalen Flächen im Vergleich zu zervikalen Flächen, mehr Anfärbungen. Probanden scheinen demnach die Innenflächen

und die Zahnzwischenräume bei der Reinigung der Zähne zu vernachlässigen. Ein kurzer Blick auf die Verhaltensdaten zeigt ein entsprechendes Bild: Zum einen wurden orale Flächen (61 Sekunden) im Vergleich zu vestibulären Flächen (102 Sekunden) deutlich kürzer geputzt, zum anderen nutzten weniger als die Hälfte der Probanden ($n = 23$) Hilfsmittel zur Zahnzwischenraumhygiene. Trotz einer durchschnittlichen Bürstdauer von über drei Minuten, welche aktuellen Empfehlungen zur Zahnputzzeit entspricht bzw. gar überschreitet (European Federation of Periodontology 2017; American Dental Association 2018), gelingt es Probanden nicht, ihre Zähne weitgehend von Plaque zu befreien. Die hier untersuchten Probanden erreichten nach der Reinigung mit ihrer eigenen elektrischen Zahnbürste nicht annäherungsweise Plaquewerte, welche zahnmedizinisches Fachpersonal mit einer manuellen Bürste erzielten (Deinzer et al. 2018b). Damit stellt sich generell die Frage, inwieweit das elektrische Zähneputzen überhaupt einen Vorteil gegenüber dem manuellen Bürsten darstellt. Dies zu prüfen war Gegenstand der ersten Nebenfragestellung.

Bei gewohnheitsmäßigen Anwendern einer Handzahnbürste waren nach bestmöglicher Reinigung etwa 41 % der marginalen Stellen nicht plaquefrei. Für den TQHI ergab sich ein Mittelwert von 1,24. Der Vergleich zwischen habituellen elektrischen und manuellen Putzern ergab demnach keine Unterschiede im Ausmaß der erreichten Plaquefreiheit. In der vorliegenden Arbeit konnte somit kein Vorteil der Reinigung mit einer elektrischen Zahnbürste gegenüber dem manuellen Putzen nachgewiesen werden. Damit wird hier bestätigt, was eine frühere Untersuchung gewohnheitsmäßiger Nutzer von rotierend-oszillierenden und manuellen Zahnbürsten zeigt (Rosema et al. 2014). Auch in dieser Studie unterschieden sich die beiden Gruppen hinsichtlich der Plaque nach Putzen nicht signifikant voneinander. Interessanterweise erwies sich in der vorliegenden Studie auch bei den kritischen approximalen Bereichen das elektrische Zähneputzen nicht als überlegen, obwohl seitens der Hersteller von elektrischen Zahnbürsten damit geworben wird, dass Nutzer einer rotierend-oszillierenden Zahnbürste (die Mehrheit der vorliegenden elektrischen Zahnbürsten) mithilfe des kleinen runden Bürstkopfes jeden Zahn problemlos bis in die Zahnzwischenräume reinigen können. Diese Behauptung scheint sich hier nicht zu bestätigen.

Auch wenn der Vergleich von elektrischen Zahnbürsten und Handzahnbürsten hier nicht im Vordergrund steht, sondern nur als Nebenfragestellung behandelt wird, sollen im Folgenden die Ergebnisse dazu dennoch in die bisherige Literatur eingeordnet werden. Während in der vorliegenden Arbeit die Plaqueanlagerung nach bestmöglichem Zähneputzen im Fokus steht, erfasst die Mehrheit der experimentellen Studien zum Vergleich zwischen elektrischem und manuellem Zähneputzen die Plaqueanlagerung vor dem Zähneputzen und die Gingivitis. Auch hinsichtlich dieser Parameter unterschieden sich habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste nicht signifikant von habituellen Nutzern einer Handzahnbürste. Interessanterweise steht dieses Ergebnis im Kontrast zu den Ergebnissen eines Cochrane

Reviews (Yaacob et al. 2014) über randomisierte kontrollierte Studien zu einem solchen Vergleich. Die Autoren kommen hier zu dem Schluss, dass hinsichtlich der Plaqueentfernung elektrische Zahnbürsten den Handzahnbürsten überlegen sind und die Nutzung elektrischer Zahnbürsten auch mit geringerer gingivaler Entzündung einhergeht. Wie bereits erwähnt bezieht sich der Review jedoch nur auf die Plaquefreiheit vor dem Putzen. Studien, respektive Daten, die ausschließlich Plaque direkt nach dem Putzen erfasst haben, gingen nicht in diese Übersichtarbeit ein.

Generell ist auffällig, dass die im Review berücksichtigten Studien stark in der Beschreibung der Instruktionen für die Nutzung der jeweiligen Zahnbürste variieren. Oft ist nicht ersichtlich, auf welche Art und Weise die Probanden in der beschriebenen Bürsttechnik instruiert wurden. Bei zahlreichen Studien jedoch wurden Probanden mit Handzahnbürsten in der modifizierten Bass-Technik unterwiesen, während für die Nutzung der elektrischen Zahnbürste Instruktionen gemäß der Herstellerangaben erfolgten (Heasman et al. 1999; Gugerli et al. 2007; Ainamo et al. 1997; Baab und Johnson 1989; Costa et al. 2007; Cronin et al. 1998; Haffajee et al. 2001; Johnson und McInnes 1994; Khocht et al. 1992; Lazarescu et al. 2003; Rosema et al. 2008; Tritten und Armitage 1996; Walsh et al. 1989; Zimmer et al. 2002; Zimmer et al. 2005). Wie diese Instruktionen jedoch im Detail ausgesehen haben, wird in keiner Studie beschrieben. Zwar wird die modifizierte Bass-Technik häufig empfohlen, jedoch wird ihre Effektivität in jüngsten Studien kritisch hinterfragt (Deinzer et al. 2016; Harnacke et al. 2012a; Harnacke et al. 2012b; Harnacke et al. 2016). In anderen Studien wurden manuelle Putzer aufgefordert, die Zähne wie immer zu putzen oder erhielten keinerlei Instruktion. Probanden, die mit der elektrischen Bürste putzten, wurden dagegen in der Nutzung der Bürste unterwiesen (García-Godoy et al. 2001; Soparkar und Quigley 1964; Stoltze und Bay 1994; Warren et al. 2001). Deswegen stellt sich die Frage, ob die in den oben genannten Studien beobachteten Gruppenunterschiede nicht auch auf „unfairen“ Ausgangsbedingungen anstatt auf einer tatsächlichen Überlegenheit der elektrischen Bürsten beruhen. Weiterhin erhielten die Probanden in diesen experimentellen Studien eigens zu Studienzwecken eine neue elektrische Zahnbürste. Es ist unklar, ob die Vorteile der elektrischen Zahnbürste hier nicht auch auf die Studiensituation und damit verbundene „demand characteristics“ zurückgehen. Demand characteristics beschreiben ein Phänomen, bei dem die Probanden ihr Verhalten unbewusst so verändern, dass die Erwartungen der Versuchsleitung erfüllt werden (Nichols et al., 2008). Bereits der preisliche Unterschied zwischen den verwendeten Zahnbürsten könnte dazu beigetragen haben, dass Probanden ihr Mundhygieneverhalten zugunsten der elektrischen Zahnbürste verändert haben. In quasiexperimentellen Studien, welche Probanden untersuchen, die nicht im Rahmen einer Studie mit dem elektrischen Zähneputzen begonnen haben, zeigten sich keine Vorteile der elektrischen Zahnbürste, weder hinsichtlich

der gingivalen Entzündung (Rosema et al. 2014; Al-Maliky et al. 2016) noch hinsichtlich der Plaqueanlagerung vor dem Zähneputzen (Rosema et al. 2014).

4.1.2 Zusammenhang zwischen Bürstverhalten und Plaquefreiheit

Bevor im Folgenden die Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Bürstverhalten mit elektrischer Zahnbürste und Plaquefreiheit diskutiert werden, soll zunächst das Bürstverhalten gesondert beschrieben und im Kontext der bisherigen Literatur diskutiert werden.

Die Anwender einer elektrischen Zahnbürste putzten mit durchschnittlich 209 Sekunden länger als drei Minuten ihre Zähne. Allerdings war die Bürstzeit ungleich auf die Mundbereiche verteilt. Dabei wurden orale Flächen deutlich kürzer geputzt als vestibuläre Flächen. Weiterhin erreichten alle Probanden alle vestibulären Flächen der Sextanten für mindestens eine Sekunde; jedoch lediglich knapp 70 % der Probanden alle oralen Sextantenflächen für mindestens eine Sekunde. Ähnliche Ergebnisse zeigten Videoanalysen zum elektrischen Putzen der Arbeitsgruppe um Ganss et al. (2018). Die Probanden putzten zwar über zwei Minuten (145 Sekunden) ihre Zähne; vernachlässigten dabei allerdings die oralen Flächen. Die vergleichsweise etwas geringere Bürstdauer wurde möglicherweise aufgrund unterschiedlicher Instruktionen verzeichnet. Während die Probanden der vorliegenden Studie gebeten wurden, ihre Zähne so gründlich wie möglich zu putzen, wurden Teilnehmer der Studie von Ganss et al. (2018) instruiert, ihre Zähne in gewohnter Art und Weise zu putzen. In der vorliegenden Studie führten die Anwender für etwa die Hälfte der Zeit, in der orale und vestibuläre Flächen geputzt wurden, manuelle Bürstbewegungen mit der elektrischen Zahnbürste aus. Dies stellt einen grundlegenden Unterschied zu den Befunden von Ganss et al. (2018) dar. Diese beobachteten einen prozentualen Anteil von 90 % für manuelle Bürstbewegungen an der gesamten Bürstdauer. Eine mögliche Begründung hierfür stellen die unterschiedlichen Studiendesigns dar. Ganss und Kollegen (2018) verglichen intraindividuelle Bewegungsmuster mit manueller versus elektrischer Zahnbürste, weswegen jeder Proband mit beiden Bürstentypen putzte. Obwohl die Reihenfolge randomisiert war, wussten die Probanden im Vorfeld, dass sie sowohl mit Handzahnbürste als auch mit elektrischer Zahnbürste putzen würden. Dies könnte unter Umständen dazu geführt haben, dass mehr manuelle Putzbewegungen ausgeführt wurden. Möglicherweise könnten auch Unterschiede bezüglich der Kodierung des Verhaltens zu diesem abweichenden Befund geführt haben. So werteten Ganss et al. (2018) die gesamte Bürstdauer inklusive der Zeit, in der okklusale Flächen geputzt wurden, hinsichtlich der Bewegungen aus; unter Umständen ließen sich solche manuellen Bürstbewegungen besonders häufig okklusal beobachten. Einen weiteren Aspekt, den es zu diskutieren gilt, stellt die Definition von passiven Bewegungen dar. In der Studie von Ganss et al. (2018) wurden diese wie folgt definiert: Eine passive Bewegung

beschreibt die Positionierung des Bürstkopfes auf den Zähnen mit weniger als zwei Bewegungen pro Sekunde. Da sich jedoch Bewegungen mit elektrischer Zahnbürste stark im Ausmaß unterscheiden können, wurde in der vorliegenden Studie auf eine zeitliche Vorgabe der Bewegungsdauer verzichtet. In der vorliegenden Studie wurden auch kurzstreckige Hin- und Her-Bewegungen, insofern sie nicht das übliche Ausmaß einer manuellen Bürstbewegung hatten, nicht als aktive Bürstbewegung verstanden.

Neben ihrer eigenen Zahnbürste und Zahnpasta standen den Probanden zusätzlich Zahnseide und Interdentalbürstchen für die Reinigung der Zähne zur Verfügung. Die Nutzung der Hilfsmittel zur Zahnzwischenraumhygiene war den Studienteilnehmern jedoch freigestellt. Trotz der Instruktion, sich die Zähne so gründlich wie möglich zu reinigen, nutzten letztendlich nur 42 % der habituellen Nutzer einer elektrischen Zahnbürste bzw. 30 % der habituellen Nutzer einer manuellen Zahnbürste eines dieser Hilfsmittel. Somit führte nicht einmal die Hälfte der Probanden überhaupt Zahnzwischenraumhygiene aus. Vergleicht man dies jedoch mit 18-Jährigen, die dieselbe Instruktion erhielten, nutzten hier sogar nur 15 % der insgesamt 98 Studienteilnehmer Hilfsmittel zur Approximalraumhygiene (Ebel et al. 2018). Interessanterweise zeigte sich in der vorliegenden Arbeit kein Vorteil hinsichtlich der approximalen Sauberkeit nach der Reinigung der Zähne bei Probanden, die Hilfsmittel zur Interdentalraumhygiene nutzten, gegenüber solchen, die keine Approximalraumhygiene ausführten. In der jüngsten Literatur wird vor allem der Mehrwert der Nutzung von Zahnseide kritisch hinterfragt. So zeigte ein aktueller Cochrane-Review (Sambunjak et al. 2011) zwar eine Reduktion der Gingivitis durch die zusätzliche Verwendung von Zahnseide gegenüber dem Zähneputzen allein, im Hinblick auf die Plaqueanlagerung ließ sich allerdings kein eindeutiger Vorteil verzeichnen. In den einbezogenen Studien (mit Ausnahme einer Studie) erhielten die Probanden Instruktionen für die korrekte Nutzung der Zahnseide. Inwiefern diese allerdings in der häuslichen Mundhygiene umgesetzt wurden, lässt sich nicht überprüfen. Die Qualität der Ausführung der Zahnzwischenraumhygie, im Sinne der korrekten Ausführung und der Anzahl erreichter Approximalräume, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht weiter analysiert. Winterfeld et al. (2015) dagegen führten eine systematische Videoanalyse der Nutzung von Zahnseide durch. Hierbei zeigt sich, dass diejenigen Probanden, die Zahnseide verwendeten, diese zum Großteil nicht korrekt benutzen und weiterhin die posterioren Zahnzwischenräume seltener erreichten. Möglicherweise wurde in der vorliegenden Studie keine höhere Plaquefreiheit bei Nutzung von Hilfsmitteln zur Approximalraumhygiene verzeichnet, da diese nicht korrekt bzw. nur an wenigen Stellen genutzt wurden.

Zur Beantwortung der zweiten Hauptfragestellung wurde überprüft, ob bestimmte Verhaltensparameter habitueller elektrischer Putzer mit der Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne in Verbindung stehen. Dabei erwiesen sich die Bürstdauer und die Systematik als

gleichmäßige Verteilung der Putzdauer auf die Flächensextanten als signifikante Prädiktoren für Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste. Zusammen trugen die Prädiktoren zu einer Varianzaufklärung von 33,2 % bei. Ob zusätzlich manuelle Bürstbewegungen ausgeführt wurden, trug zu keiner zusätzlichen Varianzaufklärung bei. Da in erster Linie rotierend-oszillierende Zahnbürsten verwendet wurden, wurde ergänzend eine separate Analyse für diese Gruppe gerechnet. Zwar erwiesen sich auch hier die Bürstdauer und die Systematik als signifikante Prädiktoren, jedoch ergab sich für ausschließlich rotierend-oszillierende Bürsten (der Marke Oral-B) eine weitaus höhere Varianzaufklärung von 55,2 %. Zugleich ergeben sich damit aber auch weiterhin 45 % nicht aufgeklärter Varianz. Als Grund hierfür könnte die methodische Vorgehensweise in Betracht gezogen werden. Zwar gilt die Videoanalyse als beste Methode zur Beobachtung des Zahnputzverhaltens, jedoch weist auch diese einige Einschränkungen auf. So ist die exakte räumliche Zuordnung der Bürste sowohl bezogen auf die Zähne als auch auf den Zahnfleischrand nur bedingt möglich und weiterhin wird nicht abgebildet, welcher Druck beim Zähneputzen ausgeübt wird. Auf diesen Aspekt wird im Rahmen der Limitierungen der Studie (siehe Kapitel 4.2) noch einmal ausführlicher eingegangen.

Interessanterweise verhalten sich Anwender einer elektrischen Zahnbürste grundsätzlich ähnlich zu manuellen Putzern, welche im Rahmen der zweiten Nebenfragestellung analysiert wurden. Auch gewohnheitsmäßige Nutzer einer Handzahnbürste putzten durchschnittlich länger als drei Minuten ihre Zähne. Orale Flächen wurden dabei kürzer geputzt als vestibuläre Flächen. Während alle Probanden alle vestibulären Sextanten für mindestens eine Sekunde putzten, erreichten 40 % der Probanden nicht alle oralen Sextanten für mindestens eine Sekunde mit der Zahnbürste. Diese Beobachtungen decken sich grundlegend mit bisherigen Befunden zum manuellen Bürstverhalten (Deinzer et al. eingereicht; Ebel et al. 2018; Winterfeld et al. 2015), jedoch wurde eine etwas längere Bürstdauer und etwas bessere Systematik verzeichnet. Bei Nutzern einer Handzahnbürste wurden in erster Linie kreisende Bürstbewegungen beobachtet. Allerdings wurden Außen- und Innenflächen auch zu einem beträchtlichen Teil mit horizontalen Schrub-Bewegungen geputzt. Vertikale Bewegungen wurden seltener beobachtet und lediglich drei Probanden nutzten die modifizierte Bass-Technik. Die Befunde hinsichtlich der ausgeführten Bewegungen entsprechen damit weitestgehend den Ergebnissen vorhergehender Videobeobachtungsstudien.

Die Dauer der kreisenden Bewegungen erwies sich als signifikanter Prädiktor für Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne mit Handzahnbürste. Dieser trug zu einer Varianzaufklärung von 8,7 % bei; die Vorhersage war damit deutlich schlechter im Vergleich zu den Analysen zum elektrischen Putzen. Dieses Ergebnis ist insofern interessant, als es sich um dieselben Beobachter und dasselbe methodische Vorgehen handelt. Es scheint, dass die Beobachtung von manuellen Bürstbewegungen bisher zu unscharf gelingt. Das Problem

hierbei liegt womöglich in den unterschiedlichen Ausprägungen der Bürstbewegungen. Dagegen sind die Bewegungen rotierend-oszillierender Bürsten standardisiert. Die Vielfalt der manuellen Bewegungen kann offensichtlich nicht durch die Methode der Videobeobachtung ausreichend abgebildet werden.

4.2 Limitierungen

Die vorliegende Untersuchung stellt die erste Studie dar, welche habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste hinsichtlich der Plaquefreiheit nach bestmöglicher Reinigung untersucht. Während die Stärke der Studie damit vor allem in ihrer Neuartigkeit liegt, weist sie selbstverständlich auch Limitierungen auf, die im Folgenden diskutiert werden sollen.

Zunächst ist in Bezug auf das Studiendesign anzumerken, dass die vorliegende Arbeit einen quasiexperimentellen Vergleich enthält. Dies ergibt sich aus der Gegebenheit, dass zusätzlich eine Vergleichsgruppe gewohnheitsmäßiger Nutzer einer Handzahnbürste untersucht wurde, um die Plaquewerte habitueller elektrischer Putzer im Rahmen der ersten Nebenfragestellung besser einordnen zu können. Die randomisierte Verteilung der Probanden auf die Untersuchungsgruppen war aufgrund der Untersuchung habitueller Nutzer nicht geeignet. Ursprünglich war ein integrierter experimenteller Vergleich geplant (siehe Kapitel 2.7). Bei Probanden, welche gewohnheitsmäßig sowohl elektrisch als auch manuell putzen (hier als Hybride bezeichnet) sollte per Zufall gelost werden, mit welcher Zahnbürste sie beim Untersuchungstermin putzen. Allerdings wurde bei der Rekrutierung von Hybriden keine ausreichend große Anzahl erreicht, um separate Analysen durchzuführen. Das vorliegende quasiexperimentelle Versuchsdesign stellt aufgrund der fehlenden Randomisierung möglicherweise eine Schwachstelle dar; personengebundene Störvariablen sind u. U. nicht gleich verteilt. Allerdings wurden Ein- und Ausschlusskriterien (siehe Kapitel 2.2.2) so aufgestellt, dass im Allgemeinen eine möglichst homogene Stichprobe untersucht werden konnte. Weiterhin zeigte sich hinsichtlich der erhobenen Kontrollvariablen (siehe Kapitel 2.6), wie Geschlecht und Raucherstatus, kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Hieraus ergibt sich jedoch eine weitere Limitierung der Arbeit in Bezug auf die Zusammensetzung der Stichprobe: Untersucht wurden ausschließlich Studierende; Frauen waren mit einem Anteil von über 70 % überrepräsentiert. Dies stellt, vor allem in Anbetracht der Zusammenhänge zwischen Bildung bzw. Geschlecht und Mundgesundheit (Geyer und Micheelis 2016; Gleissner 2014), eine Einschränkung der externen Validität auf die gesamte Bevölkerung dar. In zukünftigen Studien sollten habitueller Nutzer weiterer Bevölkerungsgruppen untersucht werden.

Da die Probanden, wie zuvor angesprochen, zur Reinigung der Zähne ihre eigene Zahnbürste nutzten, ergibt sich hieraus zwangsweise eine mangelnde Standardisierung der Zahnbürste.

So nutzte die Mehrheit der elektrischen Putzer (87 %) eine rotierend-oszillierende Zahnbürste. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen sich damit nur begrenzt auf elektrische Zahnbürsten im Allgemeinen übertragen. Schallzahnbürsten waren deutlich unterrepräsentiert. In einer Übersichtsarbeit zur Plaqueentfernung mit elektrischen Zahnbürsten (Rosema et al. 2016) erwies sich das Bewegungsmuster als ein Faktor, welcher die Plaqueentfernung beeinflusst. Die Nutzung einer rotierend-oszillierenden Zahnbürste zeigte in Bezug auf die Plaquereduktion einen geringfügigen Vorteil gegenüber Schallzahnbürsten.

Weiterhin ist es möglich, dass die Anwendung unterschiedlichster Bürstendesigns und der Gebrauchszustand der Zahnbürste im Zusammenhang mit der Reinigungsleistung stehen. Dem Verbraucher steht eine große Auswahl an Zahnbürsten bzw. Bürstköpfen zur Verfügung. Hier gibt es keine generelle Empfehlung für einen bestimmten Zahnbürstentypus, denn bei der Wahl der Bürste sollten individuelle Anforderungen des Anwenders im Vordergrund stehen (Dörfer et al. 2007). Bisherige Studien beziehen Plaquewerte nach dem Putzen auf die verwendete Bürste und nicht auf die Fähigkeiten des Anwenders an sich, die Zähne von Plaque befreien. Diese jedoch standen in der vorliegenden Studie im Vordergrund, weswegen die Reinigung mit der eigenen Zahnbürste am sinnvollsten erschien.

Uneinigkeit herrscht in der Literatur darüber, ob die Abnutzung einer Bürste die Plaqueentfernung negativ beeinflusst. Während einige Studien keinen Unterschied in Bezug auf die Effektivität des Bürstens mit abgenutzten Zahnbürsten im Vergleich zu neuen oder gering abgenutzten Zahnbürsten zeigen (van Palenstein Helder et al. 2006; Conforti et al. 2003; Daly et al. 1996; Pochapski et al. 2011; Sforza et al. 2000; Tan und Daly 2002), finden andere Untersuchungen hier einen Zusammenhang (Glaze und Wade 1986; Tangade et al. 2013). Interessanterweise registrierten Glaze und Wade (1986) zwar höhere Plaquewerte nach der Reinigung mit einer 10 Wochen alten Zahnbürste, verglichen mit einer zwei Wochen alten Bürste, ein Unterschied in den Gingivitiswerten zeigte sich allerdings nicht. Deshalb stellt sich hier die Frage nach der klinischen Relevanz dieses Befundes. Zu beachten ist, dass soeben aufgeführte Studien sich auf manuelle Zahnbürsten beziehen. Bislang untersuchten nur wenige Studien den Zusammenhang zwischen Abnutzung und Effektivität elektrischer Bürstköpfe. Diese zeigten ebenfalls keine Veränderung der Plaqueentfernung trotz deutlicher Abnutzungserscheinungen der Borsten (Conforti et al. 2003; Hogan et al. 2007). Damit lässt sich insgesamt festhalten, dass Faktoren wie Design und Gebrauchszustand der Bürste bei der Bewertung der Fähigkeiten der Anwender, Plaquefreiheit zu erreichen, wahrscheinlich eher eine untergeordnete Rolle spielen.

Hinsichtlich der Erfassung der Plaque- und Entzündungswerte soll an dieser Stelle die methodische Vorgehensweise kritisch hinterfragt werden. Wie bereits erwähnt, erfolgte die Darstellung der Zahnbeläge in der vorliegenden Arbeit mit einem fluoreszierenden Plaquerelevator. Da Fluoreszin Beläge nur unter blauem Licht anzeigt, wurde vermieden, dass die Anfärbung die Probanden beim Zähneputzen unterstützen konnte. Eine Studie zum Färbeverhalten von Fluoreszin (Gillings 1977) legt jedoch den Schluss nahe, dass Fluoreszin nicht die gesamte Plaque anfärbt. In dieser Studie wurden Fluoreszin und Erythrosin auf die Frontzähne von Kindern (N = 81) aufgetragen; im direkten Vergleich zeigte sich mittels Erythrosin eine flächenhaftere Plaqueanlagerung als mit dem fluoreszierenden Farbstoff. Fluoreszin schien lediglich dicke Plaque anzufärben. Außerdem konnte in einer zweiten Untersuchung der Arbeitsgruppe um Gillings (1977) gezeigt werden, dass Plaque eine Stunde nach dem Konsum zuckerhaltiger Getränke im stärkeren Maße mit dem fluoreszierenden Plaquerelevator angefärbt wurde. Die Autoren schlussfolgerten, dass Fluoreszin in erster Linie ältere, reifere und metabolisch aktive Plaque, welche kürzlich Zucker ausgesetzt war, unter ultraviolettem Licht sichtbar macht. Erythrosin färbt hingegen die gesamte dentale Plaque rotviolett an. Dies könnte zu dem in dieser Studie deutlich niedrigen Plaquelevel gegenüber den Ergebnissen anderer Studien (Deinzer et al. 2016; Harnacke et al. 2012a; Harnacke et al. 2012b; Harnacke et al. 2016) beigetragen haben. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass in dieser Studie das tatsächliche Vorliegen von Plaque deutlich unterschätzt wurde. Umso bemerkenswerter ist der Befund, dass nach dem Putzen noch durchschnittlich 40 % der Messstellen gefärbte Plaque zeigten.

Ein weiterer Aspekt, den es zu diskutieren gilt, ist die Methode der Videobeobachtung. Zwar stellt dies eine bewährte Methode zur Analyse des Zahnputzvorgangs dar (Ebel et al. 2018; Deinzer et al. eingereicht; Winterfeld et al. 2015), jedoch gestaltet sich die exakte Bestimmung der zahnbezogenen Lokalisation der Bürste bezogen auf einzelne Zähne als unmöglich. Außerdem kann nicht beurteilt werden, ob der Gingivarand erreicht wird. Ein weiterer Kritikpunkt liegt in der differenzierten Beurteilung von Putzbewegungen, die nur in gewissem Maße gelingt, jedoch offensichtlich eine entscheidende Rolle spielt. So ergibt sich beispielsweise für die Bewegungsform „kreisend“ eine breite Varianz (kleine/große Kreise, usw.). Ein weiterer Faktor, welcher im Zusammenhang mit der Plaqueentfernung stehen könnte, ist der Druck, mit dem geputzt wird. Ein gewisser Druck der Borsten auf die Zahnflächen ist nötig um die zähe Plaque zu entfernen, andererseits kann ein zu starker Druck den Zähnen und ihr umliegendes Weichgewebe schädigen (Hellwege 2003; Völk et al. 1987). Aktuelle Empfehlungen liegen im Bereich von 1,5 Newton (Hellwege 2003). Inwiefern dies in der vorliegenden Studie seitens der Probanden umgesetzt wurde lässt sich nicht beurteilen. Diese Faktoren könnten dafür verantwortlich sein, dass ein erheblicher Teil der Varianz in der Verteilung der Plaque durch die Analyse des Putzverhaltens nicht aufgeklärt werden konnte

Aus den soeben dargestellten Limitierungen und den zuvor aufgeführten Erkenntnisfortschritten dieser Arbeit ergeben sich weitere Forschungsfragen und Schlussfolgerungen für die Prophylaxe im Rahmen der zahnärztlichen Praxis. Diese sollen im letzten Kapitel dargelegt werden.

4.3 Implikationen für Forschung und Praxis

Aus der bisherigen Diskussion ergeben sich zahlreiche neue Ansätze für zukünftige Studien.

Im Rahmen zukünftiger Studien sollte die Übertragbarkeit der hier gewonnenen Erkenntnisse auf die Allgemeinbevölkerung geprüft werden. Außerdem stellt die gezielte Rekrutierung von Schallzahnbürsten-Nutzern mit entsprechender Untersuchung und Beobachtung ebenfalls einen weiterführenden Forschungsansatz dar.

Darüber hinaus wäre es interessant zu prüfen, ob und wenn ja, inwiefern sich die Nutzung der elektrischen Zahnbürste über die Zeit verändert. Eine Beobachtung von Probanden, kurz nach dem Neukauf einer E-Bürste versus nach Dauerverwendung, wäre ein zusätzlicher Ansatzpunkt.

Ohne jegliche Instruktion wurde in der vorliegenden Arbeit auch mit elektrischen Zahnbürsten keine weitgehende Plaquefreiheit erreicht. Es stellt sich die Frage, inwieweit unterschiedliche Instruktionen dieses Ergebnis beeinflussen. In zukünftigen Studien gilt zu prüfen, ob sich hierdurch eine weitgehende Plaquefreiheit erreichen lässt. So könnte man die Probanden beispielsweise explizit auffordern, darauf zu achten, den Zahnfleischrand zu reinigen. Die Ergebnisse hinsichtlich der Plaqueentfernung von zahnmedizinischem Fachpersonal (Deinzer et al. 2018b) mit einer Handzahnbürste zeigen, dass das Ziel der weitgehenden Plaquefreiheit im Bereich des Möglichen liegt. Interessant wäre es, ebendiese Stichprobe beim Zähneputzen zu beobachten um Hinweise darauf zu bekommen, inwiefern sich das Verhalten dieser von zahnmedizinischen Laien unterscheidet. Die bisherigen Ergebnisse und auch die Befunde dieser Arbeit (Ebel et al. 2018; Harnacke et al. 2015) über den Zusammenhang zwischen Verhalten und Plaquefreiheit von manuellen Bürsten zeigen in jedem Fall, dass die Bürstbewegung eine wichtige Rolle einnimmt. Differenziertere Analysen des Bürstverhaltens, welche die Möglichkeiten der Videobeobachtung übersteigen, sind nötig. Vor dem Hintergrund dieser Anforderung wird derzeit an der Entwicklung einer Zahnbürste (iBrush) gearbeitet, die ebendies leisten soll (Deinzer et al. 2012). Mit Hilfe dieser Technik könnten die zahlreichen zuvor aufgeführten Forschungsfragen, für die bisher aufwändige Videobeobachtungsstudien durchgeführt werden mussten, mit vergleichsweise geringem Aufwand beantwortet werden.

Im Hinblick auf die Prophylaxe in der zahnärztlichen Praxis sollte ein Aspekt besonders hervorgehoben werden: Auch gewohnheitsmäßige Anwender einer elektrischen Zahnbürste scheinen nicht in der Lage zu sein, ihre Zähne weitestgehend von Plaque zu befreien. Dabei zeigten sich der Gingivarandbereich im Allgemeinen und hier vor allem Innenflächen und proximale Bereiche als kritisch. Wie bereits erwähnt, nutzten die Probanden mehrheitlich eine rotierend-oszillierende Zahnbürste. Die Annahme, dass allein mithilfe des kleinen runden Bürstkopfes der gesamte Gingivarandsaum auch bis in den Approximalraum abfahrbar ist, scheint sich hier nur bedingt zu bestätigen. Weiterhin konnte eine Überlegenheit elektrischer Zahnbürsten gegenüber Handzahnbürsten in der vorliegenden Studie nicht gezeigt werden. Dies spricht dafür, dass die reine Empfehlung für eine elektrische Zahnbürste nicht ausreicht, um die Mundhygiene zu verbessern. Auch Nutzer einer elektrischen Zahnbürste benötigen Instruktionen und Training für den Umgang mit der Bürste. Bei Instruktionen sollte auf die Vermittlung einer systematischen Bürsttechnik Wert gelegt werden. Dabei sollte die Reinigung der marginalen Bereiche vielmehr in den Fokus gerückt werden.

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es zu prüfen, inwiefern habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste in der Lage sind, Plaquefreiheit zu erreichen. Zusätzlich wurde eine Vergleichsgruppe von habituellen Nutzern einer manuellen Zahnbürste untersucht und man analysierte, inwiefern sich die Gruppen hinsichtlich der Plaquefreiheit nach Putzen unterschieden. Des Weiteren wurde analysiert, wie habituelle Nutzer elektrischer Zahnbürsten mit dieser umgehen um einzelne Verhaltensparameter zu identifizieren, die mit Plaquefreiheit in Verbindung stehen.

Probanden waren Studierende der Universität Gießen, die ihre Zähne gewohnheitsmäßig mit einer elektrischen Zahnbürste putzen ($N = 55$) und Studierende, die habituell manuell putzen ($N = 60$). Sie wurden aufgefordert, ihre Zähne so gründlich wie möglich mit ihrer eigenen Zahnbürste zu reinigen. Während des Putzvorgangs waren die Probanden alleine, allerdings wurde ihr Putzverhalten auf Video aufgezeichnet. Unmittelbar nach dem Putzen wurde die verbliebene Plaque erfasst. Die Videos wurden von kalibrierten Beobachtern hinsichtlich verschiedener Verhaltensparameter des Bürstens (Putzdauer, Systematik und Putzbewegungen) ausgewertet. Mittels multipler Regression wurde der prädiktive Wert dieser Parameter für die Plaquefreiheit nach Putzen analysiert.

Nach bestmöglicher Reinigung waren in beiden Gruppen (habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste vs. einer manuellen Zahnbürste) noch an ca. 40 % der Zahnfleischränder Plaqueanlagerungen festzustellen. Die Untersuchungsgruppen unterschieden sich hier nicht signifikant voneinander ($p > 0,1$). Innerhalb der Nutzer einer elektrischen Zahnbürste erwiesen sich die Bürstdauer und die Bürstsystematik als besonders prädiktiv für die Plaquefreiheit nach Putzen und klärten hier gemeinsam 33,2 % der Varianz auf.

Insgesamt deuten die Daten der vorliegenden Studie darauf hin, dass habituelle Nutzer einer elektrischen Zahnbürste nicht in der Lage sind, die Zähne vollständig von Plaque zu befreien und dass sie sich hinsichtlich dieser Fähigkeit auch nicht von Verwendern einer manuellen Zahnbürste unterscheiden. Die Bürstdauer und die Bürstsystematik sagen innerhalb dieser Gruppe am besten vorher, welchen Grad an Plaquefreiheit sie nach dem Putzen erreichen.

6 Summary

The aim of the present study was to assess the capability to achieve oral cleanliness of habitual users of a powered toothbrush. In addition, a group of habitual users of a manual toothbrush was examined in order to compare the groups with respect to oral cleanliness after hygiene. Furthermore, brushing behaviour of habitual powered toothbrush users was analysed in order to determine which parameters of toothbrushing are associated with oral cleanliness after oral hygiene.

Participants were students at the University of Giessen who habitually brush their teeth with a powered toothbrush (N = 55) and students who habitually brush their teeth manually (N = 60). They were asked to clean their teeth to the best of their ability with their own toothbrush. While performing oral hygiene, they were left alone, but video recorded. Immediately after oral hygiene, the remaining plaque was assessed. The videos were analysed by calibrated raters with respect to various parameters of toothbrushing behaviour (brushing duration, systematics and movements). By means of multiple regression, the predictive value of these parameters for oral cleanliness after brushing was analysed.

Both, habitual users of a powered toothbrush and habitual users of a manual toothbrush) showed persisting plaque on approximately 40 % of their gingival margins after they had cleaned their teeth to the best of their abilities. Groups did not differ significantly from each other in this respect ($p > 0.1$). Within habitual users of a powered toothbrush, toothbrushing duration and brushing systematics proved to be predictive for oral cleanliness after brushing and explained together 33.2 % of its variance.

Overall, the data of the present study indicate, that habitual users of powered toothbrushes lack the skills to achieve oral cleanliness and that they do not differ in this ability from habitual users of a manual toothbrush. Brushing duration and brushing systematics are the best predictors for the degree of oral cleanliness they achieve.

7 Abkürzungsverzeichnis

AZ	Aktenzeichen
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d. h.	das heißt
DMS	Deutsche Mundgesundheitsstudie
IMP	Institut für Medizinische Psychologie
MPI	Marginaler Plaqueindex
PBI	Papillenblutungsindex
PZR	Professionelle Zahnreinigung
TQHI	Plaqueindex nach Quigley & Hein, modifiziert nach Turesky
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
z. B.	zum Beispiel

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Flow-Diagramm des Rekrutierungsablaufes.....	12
Abbildung 2 Einteilung der Gingivarandabschnitte bei der Erfassung des MPI.	15
Abbildung 3 Bildausschnitt aus Video aufgenommen mit Beobachtungskamera 1.....	17
Abbildung 4 Bildausschnitt aus Video aufgenommen mit integrierter Kamera des Tablet-PCs.	17
Abbildung 5 Bildausschnitt aus Video aufgenommen mit Beobachtungskamera 2.....	17
Abbildung 6 Boxplot des MPI nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.	31
Abbildung 7 Boxplot des TQHI nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.	31
Abbildung 8 Prozentuale Verteilung der TQHI-Werte nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.	31
Abbildung 9 MPI nach bestmöglicher Reinigung der Zähne.....	32
Abbildung 10 TQHI nach bestmöglicher Reinigung.....	32
Abbildung 11 Prozentuale Verteilung der Bürstdauer auf die Zahnflächen bei Nutzern einer elektrischen Zahnbürste.	34
Abbildung 12 Elektrisches Bürsten mit integrierten manuellen Bewegungen.	34
Abbildung 13 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in vestibulären Sextanten bei Nutzern einer elektrischen Zahnbürste.....	34
Abbildung 14 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in oralen Sextanten bei Nutzern einer elektrischen Zahnbürste.....	34
Abbildung 15 Prozentuale Verteilung der Bürstdauer auf die Zahnflächen bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.....	37
Abbildung 16 Prozentualer Anteil der Bürstbewegungen an der Bürstdauer ohne okklusal bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.	37
Abbildung 17 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in vestibulären Sextanten bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.	37
Abbildung 18 Qualitätsindex (QIT-S; Deinzer et al. 2018a) bezogen auf Bürstdauer in oralen Sextanten bei Nutzern einer manuellen Zahnbürste.	37

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Darstellung des Ablaufs der Videoanalyse anhand der Verhaltenscodes des finalen Kodiersystems.	23
Tabelle 2 Gruppenvergleich hinsichtlich Zahnbefund und parodontaler Parameter.....	28
Tabelle 3 Gruppenvergleich hinsichtlich Plaquewerte vor Reinigung der Zähne und Gingivitis.....	29
Tabelle 4 Plaquewerte nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit elektrischer Zahnbürste.	30
Tabelle 5 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach elektrischer Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Einschluss).....	35
Tabelle 6 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach elektrischer Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Rückwärts).	35
Tabelle 7 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach manueller Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Einschluss).	38
Tabelle 8 β -Gewicht und p-Wert des Prädiktors für Plaquefreiheit nach manueller Reinigung der Zähne (multiple Regressionsanalyse nach Methode Rückwärts).....	38
Tabelle 9 Plaquewerte nach bestmöglicher Reinigung der Zähne mit rotierend-oszillierender Zahnbürste von Oral-B und beobachtete Verhaltensparameter.	39
Tabelle 10 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne mit rotierend-oszillierender Bürste von Oral-B (Regressionsanalyse Methode „Einschluss“).	40
Tabelle 11 β -Gewicht und p-Wert der Prädiktoren für Plaquefreiheit nach Reinigung der Zähne mit rotierend-oszillierender Bürste von Oral-B (Regressionsanalyse Methode „Rückwärts“).....	40

10 Literaturverzeichnis

- Ainamo, J.; Xie, Q.; Ainamo, A.; Kallio, P. (1997): Assessment of the effect of an oscillating/rotating electric toothbrush on oral health. A 12-month longitudinal study. In: *Journal of clinical periodontology* 24 (1), S. 28–33.
- Al-Maliky, S.; Hennequin-Hoenderdos, N. L.; Slot, D. E.; van der Sluijs, E.; Keijser, B. J. F.; van der Weijden, G. A. (2016): Mondhygiënegedrag van een groep gezonde studenten. In: *Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde* 123 (6), S. 295–302. DOI: 10.5177/ntvt.2016.06.15238.
- American Dental Association (Hg.) (2018): General Recommendations for the Prevention of Caries and Gingivitis. Online verfügbar unter <https://www.ada.org/en/member-center/oral-health-topics/home-care>.
- Axelsson, P.; Nyström, B.; Lindhe, J. (2004): The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. In: *Journal of clinical periodontology* 31 (9), S. 749–757. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2004.00563.x.
- Ayad, Farid; Petrone, Dolores M.; Wachs, Gerald N.; Mateo, Luis R.; Chaknis, Patricia; Panagakos, Fotinos (2012): Comparative efficacy of a specially engineered sonic powered toothbrush with unique sensing and control technologies to two commercially available power toothbrushes on established plaque and gingivitis. In: *The Journal of clinical dentistry* 23 Spec No A, A5-10.
- Baab, D. A.; Johnson, R. H. (1989): The effect of a new electric toothbrush on supragingival plaque and gingivitis. In: *Journal of periodontology* 60 (6), S. 336–341. DOI: 10.1902/jop.1989.60.6.336.
- Biesbrock, Aaron R.; Bartizek, Robert D.; Gerlach, Robert W.; Terézhalmy, Géza T. (2007): Oral hygiene regimens, plaque control, and gingival health: a two-month clinical trial with antimicrobial agents. In: *The Journal of clinical dentistry* 18 (4), S. 101–105.
- Biesbrock, Aaron R.; Walters, Patricia A.; Bartizek, Robert D.; Goyal, C. Ram; Qaqish, Jimmy G. (2008): Plaque removal efficacy of an advanced rotation-oscillation power toothbrush versus a new sonic toothbrush. In: *American journal of dentistry* 21 (3), S. 185–188.
- Chapple, Iain L. C.; Genco, Robert (2013): Diabetes and periodontal diseases: consensus report of the Joint EFP/AAP Workshop on Periodontitis and Systemic Diseases. In: *Journal of periodontology* 84 (4 Suppl), S106-12. DOI: 10.1902/jop.2013.1340011.
- Conforti, Nicholas J.; Cordero, Raphael E.; Liebman, Joanne; Bowman, James P.; Putt, Mark S.; Kuebler, Diane S. et al. (2003): An investigation into the effect of three months' clinical wear on toothbrush efficacy: results from two independent studies. In: *The Journal of clinical dentistry* 14 (2), S. 29–33.
- Costa, Mauricio Ribeiro; Silva, Vanessa Camila; Miqui, Miriam Nakatani; Sakima, Tatsuko; Spolidorio, Denise Madalena Palomari; Cirelli, Joni Augusto (2007): Efficacy of ultrasonic, electric and manual toothbrushes in patients with fixed orthodontic appliances. In: *The Angle orthodontist* 77 (2), S. 361–366. DOI: 10.2319/0003-3219(2007)077[0361:EOUEAM]2.0.CO;2.

- Cronin, M.; Dembling, W.; Warren, P. R.; King, D. W. (1998): A 3-month clinical investigation comparing the safety and efficacy of a novel electric toothbrush (Braun Oral-B 3D Plaque Remover) with a manual toothbrush. In: *American journal of dentistry* 11 (Spec No), S17-21.
- Daly, C. G.; Chapple, C. C.; Cameron, A. C. (1996): Effect of toothbrush wear on plaque control. In: *Journal of clinical periodontology* 23 (1), S. 45–49.
- Deinzer, Arnulf; Deinzer, Renate; Margraf-Stiksrud, Jutta; Scharfenberg, Georg (2012): Intelligente Zahnbürste: iBrush (Patentschrift: DE102010053688A1).
- Deinzer, R.; Cordes, O.; Weber, J.; Hassebrauck, L.; Weik, U.; Krämer, N. et al. (eingereicht): Toothbrushing behaviour in children - an observational study in toothbrushing performance in 12 year olds.
- Deinzer, Renate (persönliche Kommunikation): Mundhygienefertigkeiten und -verhalten bei Kindern. Institut für Medizinische Psychologie, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Deinzer, Renate; Ebel, Stefanie; Blättermann, Helen; Weik, Ulrike; Margraf-Stiksrud, Jutta (2018a): Toothbrushing: to the best of one's abilities is possibly not good enough. In: *BMC oral health* 18 (1), S. 167. DOI: 10.1186/s12903-018-0633-0.
- Deinzer, Renate; Harnacke, Daniela; Mengel, Reiner; Telzer, Maria; Lotzmann, Ulrich; Wöstmann, Bernd (2016): Effectiveness of Computer-Based Training on Toothbrush Skills of Patients Treated With Crowns. A Randomized Controlled Trial. In: *Journal of periodontology* 87 (11), S. 1333–1342. DOI: 10.1902/jop.2016.160099.
- Deinzer, Renate; Jahns, Stephan; Harnacke, Daniela (2014): Establishment of a new marginal plaque index with high sensitivity for changes in oral hygiene. In: *Journal of periodontology* 85 (12), S. 1730–1738. DOI: 10.1902/jop.2014.140285.
- Deinzer, Renate; Schmidt, René; Harnacke, Daniela; Meyle, Jörg; Ziebolz, Dirk; Hoffmann, Thomas; Wöstmann, Bernd (2018b): Finding an upper limit of what might be achievable by patients: oral cleanliness in dental professionals after self-performed manual oral hygiene. In: *Clinical oral investigations* 22 (2), S. 839–846. DOI: 10.1007/s00784-017-2160-9.
- Dörfer, C. E.; Bethlenfalvy, E. R. von; Pioch, T.; Galustians, H. J.; Qaqish, J.; Sharma, N. C. (2001): Clinical evaluation of the efficacy of a battery-powered toothbrush. results from two independent studies. In: *American journal of dentistry* 14 (5), S. 273–277.
- Dörfer, C. E.; Schiffner, U.; Staehle, H. J. (2007): Häusliche mechanische Zahn- und Mundpflege. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
- Ebel, S.; Blättermann, H.; Weik, U.; Margraf-Stiksrud, J.; Deinzer, R. (2018): High Plaque Levels after Thorough Toothbrushing: What Impedes Efficacy? In: *JDR Clinical and Translational Research* 87 (11), 238008441881331. DOI: 10.1177/2380084418813310.
- European Federation of Periodontology (Hg.) (2017): Guidelines for effective prevention of periodontal diseases. Online verfügbar unter <https://www.efp.org/perioworkshop/workshop-2014/guidelines/Prevention-of-periodontal-diseases-guidance-for-dental-surgeons.pdf>.
- Farrell, Svetlana; Terézhalmy, Geza T.; Bartizek, Robert D.; Biesbrock, Aaron R. (2006): Comparative plaque removal efficacy of a dual-action power toothbrush and a manual tooth: effects by tooth type. In: *American journal of dentistry* 19 (4), S. 195–200.
- Gallob, John; Mateo, Luis R.; Chaknis, Patricia; Morrison, Boyce M.; Panagakos, Fotinos (2015): Randomized controlled trial comparing a powered toothbrush with distinct multi-

directional cleaning action to a manual flat trim toothbrush. In: *American journal of dentistry* 28 (6), S. 351–356.

Ganss, C.; Duran, R.; Winterfeld, T.; Schlueter, N. (2018): Tooth brushing motion patterns with manual and powered toothbrushes-a randomised video observation study. In: *Clinical oral investigations* 22 (2), S. 715–720. DOI: 10.1007/s00784-017-2146-7.

García-Godoy, F.; Marcusshamer, M.; Cugini, M.; Warren, P. R. (2001): The safety and efficacy of a children's power toothbrush and a manual toothbrush in 6-11 year-olds. In: *American journal of dentistry* 14 (4), S. 195–199.

Geyer, Siegfried; Micheelis, Wolfgang (2016): 10. Soziale Schichtindikatoren im Hinblick auf die Karies- und Parodontitislast in Deutschland. In: Andreas Rainer Jordan und Wolfgang Micheelis (Hg.): Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV (Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte, Band 35), S. 213–229.

Gillings, B. R. (1977): Recent developments in dental plaque disclosants. In: *Australian dental journal* 22 (4), S. 260–266.

Glaze, P. M.; Wade, A. B. (1986): Toothbrush age and wear as it relates to plaque control. In: *Journal of clinical periodontology* 13 (1), S. 52–56.

Gleissner, C. (2014): Welchen Einfluss hat das Geschlecht auf die Mundgesundheit? In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 57 (9), S. 1099–1106. DOI: 10.1007/s00103-014-2018-0.

Goyal, C. R.; Qaqish, J.; He, Tao; Grender, Julie; Walters, Pat; Biesbrock, Aaron R. (2009): A randomized 12-week study to compare the gingivitis and plaque reduction benefits of a rotation-oscillation power toothbrush and a sonic power toothbrush. In: *The Journal of clinical dentistry* 20 (3), S. 93–98.

Gugerli, Patrick; Secci, Graziella; Mombelli, Andrea (2007): Evaluation of the benefits of using a power toothbrush during the initial phase of periodontal therapy. In: *Journal of periodontology* 78 (4), S. 654–660. DOI: 10.1902/jop.2007.060279.

Haffajee, A. D.; Thompson, M.; Torresyap, G.; Guerrero, D.; Socransky, S. S. (2001): Efficacy of manual and powered toothbrushes (I). Effect on clinical parameters. In: *Journal of clinical periodontology* 28 (10), S. 937–946.

Harnacke, Daniela; Beldoch, Magdalena; Bohn, Gertrude-Heidi; Seghaoui, Ouarda; Hegel, Nicole; Deinzer, Renate (2012a): Oral and written instruction of oral hygiene: a randomized trial. In: *Journal of periodontology* 83 (10), S. 1206–1212. DOI: 10.1902/jop.2012.110550.

Harnacke, Daniela; Mitter, Simona; Lehner, Marc; Munzert, Jorn; Deinzer, Renate (2012b): Improving oral hygiene skills by computer-based training: a randomized controlled comparison of the modified Bass and the Fones techniques. In: *PloS one* 7 (5), e37072. DOI: 10.1371/journal.pone.0037072.

Harnacke, Daniela; Stein, Kathrin; Stein, Patrick; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate (2016): Training in different brushing techniques in relation to efficacy of oral hygiene in young adults. A randomized controlled trial. In: *Journal of clinical periodontology* 43 (1), S. 46–52. DOI: 10.1111/jcpe.12489.

Harnacke, Daniela; Winterfeld, Tobias; Erhardt, Jorg; Schlueter, Nadine; Ganss, Carolina; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate (2015): What is the best predictor for oral

cleanliness after brushing? Results from an observational cohort study. In: *Journal of periodontology* 86 (1), S. 101–107. DOI: 10.1902/jop.2014.140152.

He, Tao; Biesbrock, Aaron R.; Walters, Patricia A.; Bartizek, Robert D. (2008): A comparative clinical study of the plaque removal efficacy of an oscillating/rotating power toothbrush and an ultrasonic toothbrush. In: *The Journal of clinical dentistry* 19 (4), S. 138–142.

Heasman, P. A.; Stacey, F.; Heasman, L.; Sellers, P.; Macgregor, I. D.; Kelly, P. J. (1999): A comparative study of the Philips HP 735, Braun/Oral B D7 and the Oral B 35 Advantage toothbrushes. In: *Journal of clinical periodontology* 26 (2), S. 85–90.

Hellwege, Klaus-Dieter (2003): Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe. Ein Leitfaden für die Individualprophylaxe, Gruppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie. 6., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Thieme.

Hoffmann, Thomas (2006): 12.2 Parodontalerkrankungen. In: Wolfgang Micheelis, Thomas Hoffmann, Ulrich Schiffner, Mike Torsten John, Thomas Kerschbaum, Peter Potthoff et al. (Hg.): Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie - (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag (Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte, 31), S. 266–289.

Hoffmann, Thomas; Schützhold, Svenja (2016): 12.3 Parodontalerkrankungen. In: Andreas Rainer Jordan und Wolfgang Micheelis (Hg.): Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV (Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte, Band 35), S. 312–334.

Hogan, Louise M. E.; Daly, Christopher G.; Curtis, Brad H. (2007): Comparison of new and 3-month-old brush heads in the removal of plaque using a powered toothbrush. In: *Journal of clinical periodontology* 34 (2), S. 130–136. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2006.01022.x.

Huber, P. J. (1981): Robust Statistics. New York: John Wiley & Sons, Ltd.

Igo, R. P. (2010): Influential Data Points. In: N. J. Salkind (Hg.): Encyclopedia of Research Design. Vol. 2. Los Angeles: Sage, pp. 600–602.

Johnson, B. D.; McInnes, C. (1994): Clinical evaluation of the efficacy and safety of a new sonic toothbrush. In: *Journal of periodontology* 65 (7), S. 692–697. DOI: 10.1902/jop.1994.65.7.692.

Jordan, Andreas Rainer; Micheelis, Wolfgang (Hg.) (2016): Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Institut der Deutschen Zahnärzte. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV (Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte, Band 35).

Khocht, A.; Spindel, L.; Person, P. (1992): A comparative clinical study of the safety and efficacy of three toothbrushes. In: *Journal of periodontology* 63 (7), S. 603–610. DOI: 10.1902/jop.1992.63.7.603.

Lazarescu, D.; Boccaneala, S.; Illiescu, A.; Boever, J. A. de (2003): Efficacy of plaque removal and learning effect of a powered and a manual toothbrush. In: *Journal of clinical periodontology* 30 (8), S. 726–731.

Löe, H.; Theilade, E.; Jensen, S. B. (1965): Experimental Gingivitis in Man. In: *The Journal of periodontology* 36, S. 177–187.

Macgregor, I. D.; Rugg-Gunn, A. J. (1979): A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. In: *Journal of periodontal research* 14 (3), S. 225–230.

Mangold (2016): INTERACT Benutzerhandbuch.

Marsh, Philip D.; Moter, Annette; Devine, Deirdre A. (2011): Dental plaque biofilms: communities, conflict and control. In: *Periodontology 2000* 55 (1), S. 16–35. DOI: 10.1111/j.1600-0757.2009.00339.x.

Micheelis, Wolfgang; Geyer, Siegfried (2016): 9. Prävalenzen und Strukturen mundgesundheitslicher Risikofaktoren in den vier untersuchten Altersgruppen. In: Andreas Rainer Jordan und Wolfgang Micheelis (Hg.): Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV (Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte, Band 35), S. 195–212.

Nathoo, S.; Rustogi, K. N.; Petrone, M. E.; DeVizio, W.; Zhang, Y. P.; Volpe, A. R.; Proskin, H. M. (2000): Comparative efficacy of the Colgate Actibrush battery-powered toothbrush vs Oral-B CrossAction toothbrush on established plaque and gingivitis: a 6-week clinical study. In: *Compendium of continuing education in dentistry. (Jamesburg, N.J. : 1995). Supplement* (31), S19-24; quiz S35.

Nathoo, Salim; Mankodi, Suru; Mateo, Luis R.; Chaknis, Patricia; Panagakos, Foti (2012): A clinical study comparing the supragingival plaque and gingivitis efficacy of a specially engineered sonic powered toothbrush with unique sensing and control technologies to a commercially available manual flat-trim toothbrush. In: *The Journal of clinical dentistry* 23 Spec No A, A11-6.

Nathoo, Salim; Mateo, Luis R.; Chaknis, Patricia; Kemp, James H.; Gatzemeyer, John; Morrison, Boyce M.; Panagakos, Fotinos (2014): Efficacy of two different toothbrush heads on a sonic power toothbrush compared to a manual toothbrush on established gingivitis and plaque. In: *The Journal of clinical dentistry* 25 (4), S. 65–70.

Nathoo, Salim; Wachs, Gerald N.; Petrone, Dolores M.; Proskin, Howard M.; Kemp, James; Petrone, Margaret E. et al. (2003): Comparison of plaque removal efficacy of a battery-powered toothbrush and a manual toothbrush: a single-use clinical study in New Jersey. In: *The Journal of clinical dentistry* 14 (2), S. 34–37.

Pihlstrom, Bruce L.; Michalowicz, Bryan S.; Johnson, Newell W. (2005): Periodontal diseases. In: *The Lancet* 366 (9499), S. 1809–1820. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)67728-8.

Pochapski, Márcia Thaís; Canever, Tatiana; Wambier, Denise Stadler; Pilatti, Gibson Luiz; Santos, Fábio André (2011): The influence of toothbrush age on plaque control and gingivitis. In: *Oral health & preventive dentistry* 9 (2), S. 167–175.

Prochaska, J. O.; Velicer, W. F. (1997): The transtheoretical model of health behavior change. In: *American journal of health promotion : AJHP* 12 (1), S. 38–48. DOI: 10.4278/0890-1171-12.1.38.

Quigley, Gertrude A.; Hein, John W. (1962): Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. In: *The Journal of the American Dental Association* 65 (1), S. 26–29. DOI: 10.14219/jada.archive.1962.0184.

Rateitschak, Klaus H. (1989): Parodontologie. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme (Farbatlant der Zahnmedizin, / Hrsg.: Klaus H. Rateitschak ... ; Bd. 1).

Rosema, N. A. M.; Adam, R.; Grender, J. M.; van der Sluijs, E.; Supranoto, S. C.; van der Weijden, G. A. (2014): Gingival abrasion and recession in manual and oscillating-rotating power brush users. In: *International journal of dental hygiene* 12 (4), S. 257–266. DOI: 10.1111/idh.12085.

Rosema, Nam; Slot, D. E.; van Palenstein Helderma, W. H.; Wiggelinkhuizen, L.; van der Weijden, G. A. (2016): The efficacy of powered toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. In: *International journal of dental hygiene* 14 (1), S. 29–41. DOI: 10.1111/idh.12115.

Rosema, Nanning A. M.; Timmerman, Mark F.; Versteeg, Paula A.; van Palenstein Helderma, Wim H.; van der Velden, Ubele; van der Weijden, G. A. (2008): Comparison of the use of different modes of mechanical oral hygiene in prevention of plaque and gingivitis. In: *Journal of periodontology* 79 (8), S. 1386–1394. DOI: 10.1902/jop.2008.070654.

Rugg-Gunn, A. J.; Macgregor, I. D. (1978): A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. In: *Journal of periodontal research* 13 (4), S. 382–389.

Sambunjak, Dario; Nickerson, Jason W.; Poklepovic, Tina; Johnson, Trevor M.; Imai, Pauline; Tugwell, Peter; Worthington, Helen V. (2011): Flossing for the management of periodontal diseases and dental caries in adults. In: *The Cochrane database of systematic reviews* (12), CD008829. DOI: 10.1002/14651858.CD008829.pub2.

Saxer, U. P.; Mühlemann, H. R. (1975): Motivation und Aufklärung. In: *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie* 85 (9), S. 905–919.

Sforza, N. M.; Rimondini, L.; Di Menna, F.; Camorali, C. (2000): Plaque removal by worn toothbrush. In: *Journal of clinical periodontology* 27 (3), S. 212–216.

Sharma, N. C.; Goyal, C. R.; Qaqish, J. G.; Cugini, M. A.; Thompson, M. C.; Warren, P. R. (2005a): Single-use plaque removal efficacy of three power toothbrushes. In: *Journal of dentistry* 33S1, S. 11–15.

Sharma, N. C.; Qaqish, J.; Klukowska, M.; Grender, J.; Rooney, J. (2011): The plaque removal efficacy of a novel power brush head. In: *The Journal of clinical dentistry* 22 (1), S. 19–22.

Sharma, N. C.; Qaqish, J. G.; Galustians, H. J.; Goyal, C. R.; Cugini, M. A.; Thompson, M. C.; Warren, P. R. (2005b): Plaque removal efficacy of two electric toothbrushes with different brush head designs. In: *Journal of dentistry* 33S1, S. 17–21.

Singh, Surendra; Rustogi, Kedar N.; Chaknis, Patricia; Petrone, Margaret E.; DeVizio, William; Proskin, Howard M. (2005): Comparative efficacy of a new battery-powered toothbrush and a commercially available manual toothbrush on the removal of established supragingival plaque: a single-use crossover study in adults. In: *The Journal of clinical dentistry* 16 (2), S. 57–61.

Soparkar, P. M.; Quigley, G. A. (1964): Power versus Hand Brushing: Effect on Gingivitis. In: *Journal of the American Dental Association* (1939) 68, S. 182–187.

Stoltze, Kaj; Bay, Lena (1994): Comparison of a manual and a new electric toothbrush for controlling plaque and gingivitis. In: *Journal of clinical periodontology* 21 (2), S. 86–90. DOI: 10.1111/j.1600-051X.1994.tb00284.x.

Strate, J.; Cugini, M. A.; Warren, P. R.; Qaqish, J. G.; Galustians, H. J.; Sharma, N. C. (2005): A comparison of the plaque removal efficacy of two power toothbrushes: Oral-b Professional Care Series versus Sonicare Elite. In: *International dental journal* 55 (3), S. 151–156.

Tan, Eugene; Daly, Christopher (2002): Comparison of new and 3-month-old toothbrushes in plaque removal. In: *Journal of clinical periodontology* 29 (7), S. 645–650.

- Tangade, Pradeep S.; Shah, Aasim Farooq; Ravishankar, T. L.; Tirth, Amit; Pal, Sumit (2013): Is plaque removal efficacy of toothbrush related to bristle flaring? A 3-month prospective parallel experimental study. In: *Ethiopian journal of health sciences* 23 (3), S. 255–264.
- Terézhalmy, Géza T.; Bartizek, Robert D.; Biesbrock, Aaron R. (2005): Relative plaque removal of three toothbrushes in a nine-period crossover study. In: *Journal of periodontology* 76 (12), S. 2230–2235. DOI: 10.1902/jop.2005.76.12.2230.
- Tonetti, Maurizio S.; van Dyke, Thomas E. (2013): Periodontitis and atherosclerotic cardiovascular disease: consensus report of the Joint EFP/AAP Workshop on Periodontitis and Systemic Diseases. In: *Journal of periodontology* 84 (4 Suppl), S24-9. DOI: 10.1902/jop.2013.1340019.
- Tritten, C. B.; Armitage, G. C. (1996): Comparison of a sonic and a manual toothbrush for efficacy in supragingival plaque removal and reduction of gingivitis. In: *Journal of clinical periodontology* 23 (7), S. 641–648.
- Turesky, S.; Gilmore, N. D.; Glickman, I. (1970): Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamin C. In: *Journal of periodontology* 41 (1), S. 41–43. DOI: 10.1902/jop.1970.41.41.41.
- van Palenstein Helderman, W. H.; Kyaing, M. M.; Aung, M. T.; Soe, W.; Rosema, N. A. M.; van der Weijden, G. A.; van 't Hof, M. A. (2006): Plaque removal by young children using old and new toothbrushes. In: *Journal of dental research* 85 (12), S. 1138–1142. DOI: 10.1177/154405910608501214.
- Völk, W.; Mierau, H. D.; Biehl, P.; Dornheim, G.; Riethmayer, C. (1987): Beitrag zur Ätiologie der keilförmigen Defekte. In: *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 42 (5), S. 499–504.
- Walsh, M.; Heckman, B.; Leggott, P.; Armitage, G.; Robertson, P. B. (1989): Comparison of manual and power toothbrushing, with and without adjunctive oral irrigation, for controlling plaque and gingivitis. In: *Journal of clinical periodontology* 16 (7), S. 419–427.
- Warren, P. R.; Cugini, M.; Marks, P.; King, D. W. (2001): Safety, efficacy and acceptability of a new power toothbrush: a 3-month comparative clinical investigation. In: *American journal of dentistry* 14 (1), S. 3–7.
- Winterfeld, T.; Schlueter, N.; Harnacke, D.; Illig, J.; Margraf-Stiksrud, J.; Deinzer, R.; Ganss, C. (2015): Toothbrushing and flossing behaviour in young adults--a video observation. In: *Clinical oral investigations* 19 (4), S. 851–858. DOI: 10.1007/s00784-014-1306-2.
- Yaacob, Munirah; Worthington, Helen V.; Deacon, Scott A.; Deery, Chris; Walmsley, A. Damien; Robinson, Peter G.; Glenny, Anne-Marie (2014): Powered versus manual toothbrushing for oral health. In: *The Cochrane database of systematic reviews* (6), CD002281. DOI: 10.1002/14651858.CD002281.pub3.
- Yucel-Lindberg, Tülay; Båge, Tove (2013): Inflammatory mediators in the pathogenesis of periodontitis. In: *Expert reviews in molecular medicine* 15, e7. DOI: 10.1017/erm.2013.8.
- Zimmer, Stefan; Nezhat, Vida; Bizhang, Mozhgan; Seemann, Rainer; Barthel, Claudia (2002): Clinical efficacy of a new sonic/ultrasonic toothbrush. In: *Journal of clinical periodontology* 29 (6), S. 496–500.
- Zimmer, Stefan; Strauss, Julianne; Bizhang, Mozhgan; Krage, Tracy; Raab, W. H-M; Barthel, Claudia (2005): Efficacy of the Cybersonic in comparison with the Braun 3D Excel and a

manual toothbrush. In: *Journal of clinical periodontology* 32 (4), S. 360–363. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2005.00683.x.

11 Anhang

Anhang A	Aufklärungsbogen
Anhang B	Rekrutierungstext
Anhang C	Formular zur Registrierung der Kontaktdaten und Telefoninterview
Anhang D	Erinnerungs-E-Mail
Anhang E	Farbmarkierung der Zahnbürsten
Anhang F	Tabelle F Urteilerübereinstimmung bei Verhaltensanalyse für Kalibrierung.
Anhang G	Tabelle G Urteilerübereinstimmung bei Verhaltensanalyse.
Anhang H	Tabelle H Ausreißer-bereinigte Plaquewerte vor und nach bestmöglicher Reinigung der Zähne.

Anhang A

Untersuchung des Zahnputzverhaltens

Probanden-Informationen

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

hiermit laden wir Sie zur Teilnahme an der nachfolgend beschriebenen wissenschaftlichen Studie ein.

Sie wurden bereits auf die geplante Studie angesprochen. Der nachfolgende Text soll Ihnen die Ziele und den Ablauf erläutern. Bitte zögern Sie nicht, alle Punkte anzusprechen, die Ihnen unklar sind. Sie werden danach ausreichend Bedenkzeit erhalten, um über Ihre Teilnahme zu entscheiden.

Ihre Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie ist freiwillig. Sie werden in diese Studie also nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der wissenschaftlichen Studie teilnehmen möchten oder später aus ihr ausscheiden möchten, erwachsen Ihnen daraus keine Nachteile.

1. Warum wird diese Studie durchgeführt?

Die tägliche Entfernung von Zahnbelägen ist notwendig, um Zahnerkrankungen zu vermeiden. Um einen tieferen Einblick in die Putzfertigkeiten von Studierenden zu erlangen, möchten wir im Rahmen der Studie mögliche Zahnbeläge erfassen und Sie bei dem Reinigen Ihrer Zähne filmen.

2. Wie ist der Ablauf der Studie und was muss ich bei Teilnahme beachten?

Im Rahmen der Studie werden mögliche Beläge auf Ihren Zähnen untersucht, dabei werden Ihre Zähne mit einer speziellen Lösung eingefärbt und die Beläge registriert. Zusätzlich wird Ihre Mundgesundheit erfasst. Weiterhin werden Sie gebeten, sich Ihre Zähne mit Ihrer eigenen mitgebrachten Zahnbürste so gründlich wie möglich zu putzen. Dabei werden Sie gefilmt und die Videos werden dann im Nachhinein analysiert. Danach werden dann erneut noch vorhandene Beläge erfasst, in der gleichen Art und Weise wie bereits zuvor beschrieben. Anschließend werden weitere psychologische und soziodemografische Parameter per Fragebogen und Interview erfasst. Weiterhin wollen wir dokumentieren, mit welcher Zahnbürste Sie geputzt haben und dazu auch ein Foto von Ihrer Zahnbürste machen.

Die Untersuchungen finden in den Räumlichkeiten der Medizinischen Psychologie (Klinikstr. 29) statt.

Der Vorteil, den Sie persönlich aus dieser Studie ziehen können, ist, dass Sie eine Rückmeldung über Ihren Mundgesundheitsstatus erhalten. Außerdem können Sie etwas über Ihre Fähigkeiten erfahren, Beläge von Ihren Zähnen zu entfernen. Dies ersetzt allerdings nicht den Besuch beim Zahnarzt. Mit dieser Studie verbundene Risiken sind nicht bekannt oder zu erwarten.

Durch Ihre Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie entstehen für Sie keine Kosten.

Für Ihre Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung von 15€.

4. Was geschieht mit meinen Daten?

Die Durchführung des Forschungsvorhabens erfordert es, dass von Ihnen personenbezogene Daten erhoben und verarbeitet werden. Alle erhobenen Daten sowie persönlichen Angaben werden pseudonymisiert, d.h. unter einem Code ohne Zuordnung zu Ihrer Person, niedergeschrieben oder elektronisch gespeichert. Dies unterliegt strengen spezialgesetzlichen Bestimmungen bezüglich des Datenschutzes, die restriktiv eingehalten werden. **Ihre Forschungsdaten und Ihre persönlichen Angaben werden also getrennt voneinander aufbewahrt und pseudonymisiert ausgewertet, so dass Dritten eine Zuordnung zu Ihrer Person nicht möglich ist.**

Die Daten werden in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern im Institut für Medizinische Psychologie der Universität Giessen aufgezeichnet werden. Die erhobenen Daten dürfen zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung weiterverarbeitet werden. Die Daten werden nach Beendigung oder Abbruch der Studie zehn Jahre aufbewahrt. Danach werden alle Daten gelöscht. Sollten Sie es wünschen, dürfen Sie Einsicht in die von Ihnen erhobenen Daten erhalten.

Die Antworten der ausgefüllten Online-Fragebögen werden, wie oben beschrieben, nur durch einen Code (Pseudonym) gekennzeichnet. Bei dem Ausfüllen der Fragebögen wird die **IP-Adresse (Adresse des Computers) nicht gespeichert**, so dass Dritte die Antworten nicht zu Ihrer Person zuordnen können. Die Daten werden außerdem nur **verschlüsselt übertragen** und auf einem **deutschen Server zwischengespeichert** und direkt **nach Abschluss der Studie gelöscht**. Weitere Informationen finden Sie auf der Seite: <https://www.soscisurvey.de/index.php?page=privacy>.

Untersuchung des Zahnputzverhaltens

Einwilligungserklärung

.....
Name des Probanden in Druckbuchstaben

geb. am

Ich habe mir anhand des ausgehändigten Aufklärungsbogens einen Überblick über das Forschungsvorhaben und den Ablauf der Studie verschafft. Alle meine Fragen wurden durch den Versuchsleiter zufrieden stellend beantwortet und ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden.

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie zurückziehen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir irgendwelche Nachteile entstehen.

Datenschutz:

Mir ist bekannt, dass bei dieser wissenschaftlichen Prüfung personenbezogene Daten, insbesondere medizinische Befunde über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Angaben über meine Gesundheit erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an der wissenschaftlichen Prüfung folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, das heißt ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der wissenschaftlichen Prüfung teilnehmen.

1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser wissenschaftlichen Studie personenbezogene Daten, insbesondere Angaben über meine Gesundheit, über mich erhoben und in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern im Institut für Medizinische Psychologie der Justus-Liebig-Universität Gießen aufgezeichnet werden. Soweit erforderlich, dürfen die erhobenen Daten pseudonymisiert (verschlüsselt) weitergegeben an den Verantwortlichen oder eine von diesem beauftragte Stelle zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung weitergegeben werden.
2. Außerdem erkläre ich mich damit einverstanden, dass autorisierte und zur Verschwiegenheit verpflichtete Beauftragte des Verantwortlichen sowie die zuständigen Überwachungsbehörden in meine vorhandenen personenbezogenen Daten, insbesondere meine Gesundheitsdaten, Einsicht nehmen, soweit dies für die Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung der Studie notwendig ist.
3. Ich bin bereits darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der wissenschaftlichen Prüfung beenden kann. Im Fall eines solchen Widerrufs meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten weiterhin verwendet werden dürfen, soweit dies erforderlich ist, um sicherzustellen, dass meine schutzwürdigen Interessen nicht beeinträchtigt werden. Falls ich meine Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, widerrufe, müssen alle Stellen, die meine personenbezogenen Daten, insbesondere Gesundheitsdaten, gespeichert haben, unverzüglich prüfen, inwieweit die gespeicherten Daten zu dem vorgenannten Zweck noch erforderlich sind. Nicht mehr benötigte Daten sind unverzüglich zu löschen.
4. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten und mein Video nach Beendigung oder Abbruch der Studie zehn Jahre aufbewahrt werden. Danach werden meine personenbezogenen Daten gelöscht.

Ein Exemplar der Probanden-Information und -Einwilligung habe ich erhalten. Ein Exemplar verbleibt im Institut für Medizinische Psychologie der Universität Gießen.

Unterschrift des **Probanden**

Name des Versuchsleiters in Druckbuchstaben

Unterschrift des aufklärenden **Versuchsleiters**

Anhang B

15€ für Versuchsteilnahme

Liebe Studierende,

im Rahmen meiner Promotionsarbeit suche ich für eine Studie zum Zähneputzen Probandinnen und Probanden (keine Medizin-/Zahnmedizin studierenden) im Alter von 18 bis 30 Jahren. Wichtig ist, dass Sie keine feste Zahnsperre und keinen festen Retainer tragen.

Die Untersuchung findet in den Laborräumen der Medizinischen Psychologie, Klinikstraße 29 (Medizinisches Lehrzentrum, ehemalige „Alte Chirurgie“) in Gießen statt und dauert etwa 1,5 Stunden. Als Aufwandsentschädigung erhalten Sie 15€.

Wenn Sie teilnehmen möchten, melden Sie sich bitte unter der Telefonnummer

0641-99-45674

oder unter folgender E-Mail-Adresse:

Lisa.Wilhelm@psycho.med.uni-giessen.de

Bitte geben Sie in der E-Mail neben Ihrem Namen auch Ihre Telefonnummer an, unter der wir Sie zurückrufen können.

Mit freundlichen Grüßen

Waldemar Petker, Zahnarzt

Die Studie ist eine Kooperation des Instituts für Medizinische Psychologie der Justus-Liebig-Universität Gießen (Leitung Prof. Renate Deinzer), der Poliklinik für Parodontologie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Gießen (Leitung Prof. Jörg Meyle) und der Abteilung für Differentielle Psychologie und Psychologische Diagnostik des Fachbereichs Psychologie der Philipps-Universität Marburg (Dr. Jutta Margraf-Stiksrud).

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Renate Deinzer

Institut für Medizinische Psychologie, Justus-Liebig-Universität Gießen

Klinikstraße 29

35392 Gießen

Telefon: 0641-99-45674

Anhang C

Zahnputzstudie (E-Bürste)

<div style="border-bottom: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> Datum/Interviewer	Probandencode <div style="border: 2px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
<div style="border-bottom: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> Name	
<div style="border-bottom: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> Adresse	
<div style="border-bottom: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> Handy	
<div style="border-bottom: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> E-Mail (Wegbeschreibung)	

1. Wie alt sind Sie? _____ Jahre (wenn < 18 oder > 30 J → Ausschluss)

2. Studieren Sie? [] ja [] nein (wenn nein → Ausschluss)

3. Was studieren Sie? _____ (wenn Medizin/Zahnmedizin → Ausschluss)

4. Geschlecht: [] weiblich [] männlich
Wenn weiblich: Sind Sie schwanger? [] ja [] nein (wenn ja → Ausschluss)

5. Tragen Sie eine feste Zahnsperre oder einen festen Retainer? Ja [] Nein [] wenn ja → Ausschluss

6. Tragen Sie eine herausnehmbare Prothese? Ja [] Nein [] wenn ja → Ausschluss

7. Haben Sie körperliche Einschränkungen, die Sie beim Zähneputzen einschränken? (z. B. eine Hand-, Arm- oder Schulterverletzung) Ja [] Nein [] wenn ja → Ausschluss

8. Wie putzen Sie sich die Zähne? Mit elektrischer Zahnbürste oder Handzahnbürste?
elektrische Zahnbürste [] seit wann ungefähr? _____ (wenn < 6 Monate → Ausschluss)
Handzahnbürste [] seit wann ungefähr? _____ (wenn < 6 Monate → Ausschluss)
Sowohl als auch [] seit wann ungefähr? _____ (wenn < 6 Monate → Ausschluss)
Wenn sowohl als auch:
Können Sie bitte genauer beschreiben, wie oft oder wann Sie mit der einen oder anderen Bürste putzen?
(WICHTIG: möglichst präzise erfragen und alles notieren: z. B. morgens elektrisch/abends Hand; eigentlich eher elektrisch aber nicht im Urlaub; phasenweise (eine Woche elektrisch, dann wieder eine Woche Hand; usw.)

Probandencode

9. Haben Sie innerhalb der letzten **4 Monate** eine professionelle Zahnreinigung durchführen lassen? Ja [] Nein [] Ja → Ausschluss

10. Haben Sie innerhalb der letzten **6 Monate** Antibiotika eingenommen? Ja [] Nein [] Ja → Ausschluss

11. Was ist der höchste Bildungsabschluss Ihrer Eltern? Die Antwortmöglichkeiten der folgenden Frage soll nur dargelegt, wenn der Proband sich bei der Beantwortung unsicher zu sein scheint.

- kein Schulabschluss ☐
- Haupt-/Realschulabschluss ☐
- (Fach-) Abitur ☐
- Akademischer Abschluss ☐
(Bachelor, Master, Diplom, Promotion)
- unbekannt ☐

Bei Einschluss:

Gut, dann würde ich jetzt gerne noch den Termin für die Untersuchung mit Ihnen vereinbaren (Termin vereinbaren).

TERMIN: am _____; um _____ Uhr

Ganz wichtig ist noch, dass Sie zu dem Termin Ihre eigene(n) Zahnbürsten mitbringen und 4h vor dem Termin nicht Ihre Zähne putzen (was nicht schlimm ist, da Sie dann hier vor Ort putzen dürfen)

Sie bekommen ein bis zwei Tage vor Ihrem Termin nochmals eine Erinnerungs-Sms/WhatsApp zugeschickt und eine E-Mail mit der Wegbeschreibung (abklären, ob Whatsapp ok ist oder lieber SMS; wenn kein Handy dann per Email).

Anhang D

Hallo Frau/Herr XXX,

herzlichen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, an unserer Studie zum Zähneputzen teilzunehmen. Hiermit möchte ich Sie gerne an den mit Ihnen vereinbarten Termin am ... erinnern.

Bitte denken Sie unbedingt daran, Ihre **eigene Zahnbürste** zum Untersuchungstermin mitzubringen und sich mindestens 4 Stunden vor dem Termin nicht die Zähne zu putzen.

Im Anhang finden Sie eine Wegbeschreibung zu unserem Institut für Medizinische Psychologie.

Vielen Dank und herzliche Grüße

Anhang E

Instruktionen für Markierungen der Zahnbürste

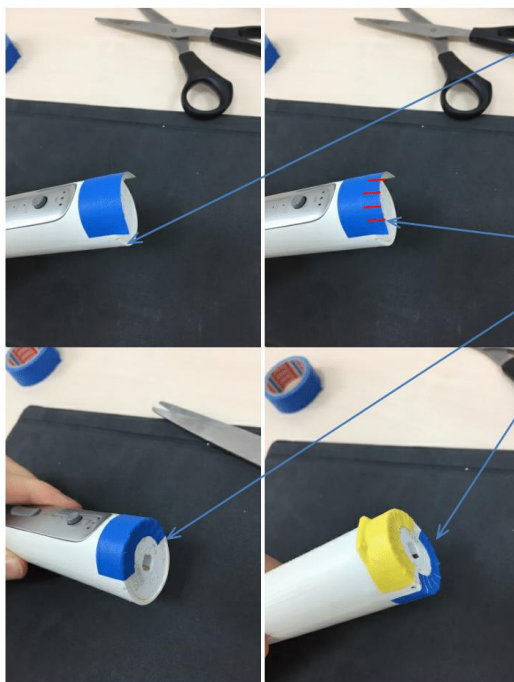
Farbkodierung

blau	Vorderseite Zahnbürstengriff
gelb	Rückseite Zahnbürstengriff
rot	Vorderseite Zahnbürstenkopf
grün	Rückseite Zahnbürstenkopf



Folgende Schritte beziehen sich auf die Markierungen elektrischer Zahnbürsten:

Mitte der Zahnbürste mit einem Filzstift markieren.



Blaue Markierung mit einem Abstand von ca. 2mm zur markierten Mitte auf der Vorderseite des Endstückes des Bürstengriffes anbringen.

Lassen Sie ungefähr 1/3 der Markierung überstehen. Überstehenden Teil mehrfach einschneiden und anschließenden einklappen.

Die Schritte werden für die gelbe Markierung auf der Rückseite wiederholt.

Instruktionen für Markierungen der Zahnbürste

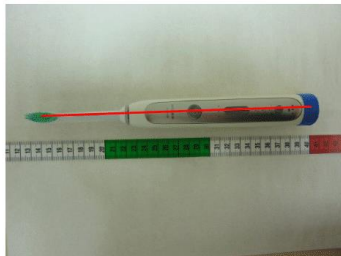
Die Markierung am Bürstkopf wird in einem Abstand von ca. 1cm gesetzt. Die Markierungen hier können bündig mit der Mitte des Bürstkopfes abschließen.



Beachte: Bei der seitlichen Aufsicht erkennt man, dass am Ende des Bürstengriffs ein Abstand von ca. 0,5cm zwischen den Markierungen besteht, damit von vorne und hinten jeweils nur eine Farbe gesehen wird.



Beachte: Es muss der Abstand zwischen der Mitte der Markierung zur Mitte des Bürstkopfes gemessen werden!!! **Wert notieren!!!** Zusätzlich wird ein **Foto** gemacht: Die Zahnbürste wird auf einer Unterlage in einem Abstand von ca. 1cm zum Maßband platziert und möglichst senkrecht fotografiert. (Die Unterlage kann dabei unter das Maßband geschoben werden. Die Zahnbürste darf das Maßband nicht berühren!)



Prinzipiell erfolgt die Markierung der Handzahnbürste nach gleichem Schema. (Markierung am Bürstkopf fehlt auf der Abbildung.)



Anhang F

Tabelle F Urteilerübereinstimmung bei Verhaltensanalyse für Kalibrierung.

Kategorie	Code	ICC	Rater
Bürstdauer	Bürstbewegungszeit	> 0,999	
	okklusal	0,974	P. Kellner
Fläche	vestibulär	0,983	W. Petker
	oral	0,986	
	Sextant 1	0,931	
	Sextant 2	0,878	
	Sextant 3	0,878	
Sextant	Sextant 4	0,899	
	Sextant 5	0,909	
	Sextant 6	0,987	K. Bandurka
			W. Petker
Bewegung	integrierte manuelle Bewegung	0,999	
elektrisch	keine integrierte manuelle Bewegung	0,999	
	horizontale Bewegung	0,952	
Bewegung	kreisende Bewegung	0,996	
manuell	vertikale Bewegung	0,898	

Anhang G

Tabelle G Urteilerübereinstimmung bei Verhaltensanalyse.

Kategorie (grau unterlegt)		Rater	ICC elektrisch		ICC manuell	
Code						
Bürstdauer						
Bürstbewegungszeit		W. Petker; P. Kellner	> 0,999		> 0,999	
Fläche						
			Video 1-10	Video 11-17	Video 1-10	Video 11-19
okklusal		1. Rater: W. Petker 2. Rater: P. Kellner	0,910	0,806	0,964	0,963
vestibulär			0,994	0,999	0,971	0,989
oral			0,940	0,956	0,853	0,950
Sextant						
Sextant 1			0,996		0,987	
Sextant 2			0,987		0,930	
Sextant 3		1. Rater: K. Bandurka	0,991		0,978	
Sextant 4		2. Rater: W. Petker	0,978		0,933	
Sextant 5			0,986		0,974	
Sextant 6			0,993		0,972	
Bewegung elektrisch						
			Video 1-5			
integrierte Bewegung	manuelle	1. Rater: W. Petker	0,957	0,972		
keine integrierte Bewegung	manuelle	2. Rater: K. Bandurka	0,995	0,870		
Bewegung manuell						
kreisende Bewegung					0,987	
horizontale Bewegung		1. Rater: W. Petker			0,981	
vertikale Bewegung		2. Rater: K. Bandurka			0,984	
modifizierte Bass-Technik					1,000	

Anhang H

Tabelle H Ausreißer-bereinigte Plaquewerte vor und nach bestmöglicher Reinigung der Zähne.

	elektrisch		manuell		p-Wert
	N	MW±s	N	MW±s	
Plaqueswerte vor Putzen					
MPI gesamt % angefärbte Stellen	55	58,35±21,19	60	62,29±18,68	0,291
MPI vestibular % angefärbte Stellen	55	57,35±25,16	60	58,85±23,63	0,742
MPI oral % angefärbte Stellen	55	59,35±22,76	60	65,72±18,69	0,102
MPI approximal % angefärbte Stellen	55	62,23±20,57	60	66,29±19,09	0,275
MPI zervikal % angefärbte Stellen	55	54,47±22,60	60	58,29±19,26	0,330
TQHI gesamt	53	1,64±0,56	59	1,75±0,49	0,271
TQHI vestibulär	52	1,73±0,67	60	1,87±0,67	0,248
TQHI oral	53	1,50±0,53	59	1,63±0,45	0,164
Plaqueswerte nach Putzen					
MPI gesamt % angefärbte Stellen	54	38,31±18,54	59	40,85±16,28	0,440
MPI vestibular % angefärbte Stellen	51	31,37±18,54	59	34,56±17,34	0,354
MPI oral % angefärbte Stellen	53	41,24±21,11	58	45,95±19,62	0,226
MPI approximal % angefärbte Stellen	53	40,74±17,85	60	44,67±17,84	0,245
MPI zervikal % angefärbte Stellen	54	35,11±19,24	58	36,94±15,67	0,581
TQHI gesamt	53	1,15±0,50	59	1,22±0,43	0,445
TQHI vestibulär	52	1,15±0,61	60	1,23±0,54	0,447
TQHI oral	53	1,11±0,51	58	1,19±0,43	0,370

MW: Mittelwert; s: Standardabweichung

12 Publikationsverzeichnis

Originalarbeiten

Petker, Waldemar; Weik, Ulrike; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate. Oral cleanliness in daily users of powered vs. manual toothbrushes – a cross-sectional study. In: *BMC oral health* 19 (1), S. 96. DOI: 10.1186/s12903-019-0790-9.

Vorträge und Posterpräsentationen

Petker, Waldemar; Weik, Ulrike; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate. A mere Laboratory-Effect? Powered Tooth Brushing in Habitual Users. 96. Jahreshauptversammlung der IADR, London, 25. – 28. Juli 2018.

Petker, Waldemar; Weik, Ulrike; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate. Die Zahnbürste alleine ist nicht der Schlüssel! Elektrisches vs. Manuelles Zähneputzen bei habitueller Nutzung. Deutscher Zahnärztetag, Frankfurt, 9 – 10. November 2018.

Petker, Waldemar; Weik, Ulrike; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate. Zähneputzen wie ein Zahnarzt? - Alltägliche Nutzer elektrischer und manueller Zahnbürsten im Vergleich. 2. Science Day der Universität Gießen, Gießen, 12. November 2018.

13 Ehrenwörtliche Erklärung zur Dissertation

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

14 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Renate Deinzer für die Überlassung des Dissertationsthemas, für ihre fortwährende Unterstützung und die vielen Möglichkeiten, die sich damit für mich eröffnet haben.

Danken möchte ich außerdem Frau Dr. Harnacke und Frau Dr. Weik für die Unterstützung bei der Planung und Umsetzung der Studie sowie der Verfassung dieser Arbeit.

Meiner gesamten Arbeitsgruppe möchte ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die vielen produktiven Diskussionen danken.

Weiterhin danke ich Frau Dr. Margraf-Stiksrud für ihren hilfreichen Input und Herrn Prof. Dr. Bernd Wöstmann für die Bereitstellung der Software zur Befunddokumentation.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie danken, die mich während der gesamten Zeit unterstützt, bestärkt und motiviert hat.